

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

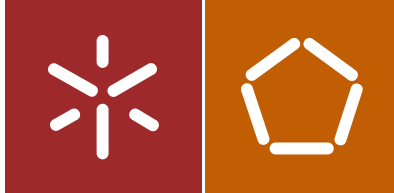
Marina Paschoalino de Jesus

Fachadas Verdes e  
Comportamento Térmico Urbano

Marina Paschoalino de Jesus Fachadas Verdes e Comportamento Térmico Urbano

UMinho | 2016

junho de 2016



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Marina Paschoalino de Jesus

Fachadas Verdes e  
Comportamento Térmico Urbano

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Internacional em  
Sustentabilidade do Ambiente Construído

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professora Júlia Maria Brandão Barbosa Lourenço  
Professora Rosa Maria Arce Ruiz

## AGRADECIMENTOS

Meu mais sincero sentimento de gratidão a todas as pessoas que direta ou indiretamente estiveram presentes e nos últimos anos participaram dessa caminhada.

Sou grata à minha família, Paschoalino e de Jesus, que mesmo distantes são meu apoio incondicional. As famílias Mudado e Vasconcelos, por me acolherem.

Quero agradecer minha orientadora Júlia M. Lourenço, pelo aprendizado e apoio que foram muito além dos conhecimentos acadêmicos. Agradeço minha co-orientadora Rosa M. Arce pela ajuda, disponibilidade e recepção na Universidad Politécnica de Madrid. Ao Maciel Macias e Faustino Chenlo da UPM, que ajudou imenso com o apoio na disponibilização dos equipamentos e esclarecimentos técnicos, José Amarílio Barbosa por esclarecimento de dúvidas e sugestões.

Aos professores do mestrado, que de formas tão diferentes contribuíram para meu conhecimento, ampliaram meus horizontes e somaram competências.

À secretaria do iMiSBE, aos funcionários dos Serviços de Relações Internacionais (SRI) e dos Serviços de Acção Social (SASUM) pela prontidão, gentileza e boa disposição em me ajudar.

Aos meus colegas de sala, em especial Daniela Marta, Sebastião e Luis Filipe pelas discussões enriquecedoras, suporte acadêmico e por tornarem esse período mais leve e divertido.

Quero agradecer imensamente à “equipe de tese” Gabriel Davinha e Anna Sophia Piacenza Moraes, pelo apoio incondicional e contribuição nesse trabalho. Aos amigos Humberto Pinheiro Lopes, Iara Braga, Gustavo Caldas e Raquel de Campos por suas contribuições.

Aos amados amigos e familiares Selma Paschoalino, Manzatto, Henrique Fares Leite, Gabriela Mudado, Claudia Mudado, Beto Martins, Vinícius Lacerda, Patt Menezes, Dani Zuquim, Jacqueline Kathiurcia, Magno Teixeira, Flávia Machado, Lucas Anjos, Vinícius de Paula, Letícia Marinho, Maíra Cerveira, Vércia Oliveira, Vanessa Maia, aos amigos de pós da UFMG, Tatiana Teixeira e Tonin, Adriana Affonseca, Ana Cristina Ferreira, Thaís Simões de Freitas pelo convívio enriquecedor, motivação, por acreditarem em mim e tornarem o sonho dessa caminhada possível.

Aos meus amores maiores minha mãe Sônia Maria Paschoalino e irmão Vitor Paschoalino Pereira Marques.



## RESUMO

Na busca de soluções mais sustentáveis para o desenvolvimento urbano das cidades, a utilização de fachadas recobertas por vegetação, ou fachadas verdes, em grandes centros urbanos, se apresenta potencialmente como ferramenta de combate aos efeitos das alterações das condições climáticas. No entanto, é necessário quantificar os benefícios ambientais e o impacto na redução térmica urbana gerados no uso e aplicação de tais fachadas, visto que a magnitude do desempenho térmico que poderá ser atingido em sua aplicação é variável.

A investigação tem como objetivo identificar o impacto da presença de fachadas verdes no comportamento térmico urbano. Para tal, realizou-se a análise do comportamento de variáveis climáticas circundantes à uma fachada recoberta por vegetação e uma fachada “convencional”, com ausência de vegetação, localizadas no mesmo microclima, na cidade de Madrid, Espanha. As variáveis climáticas analisadas no estudo foram temperatura, umidade do ar, radiação solar e velocidade e direção dos ventos, coletadas em diferentes estações do ano e em diferentes horas do dia.

Os resultados demonstram um impacto significativo no comportamento térmico em função da presença da fachada verde. Verificou-se no caso analisado, um potencial de redução térmica da fachada recoberta por vegetação, tendo sido os maiores valores de redução obtidos em um dia de verão quente e seco, com variações em torno de 2,5°C e 2,9°C, para medições feitas à uma distância de 0,5 m da fachada verde.

Pode-se concluir que os resultados encontrados na presente investigação estão em consonância com estudos similares desenvolvidos em outros países, que atestam para o impacto positivo na redução térmica em função da aplicação de fachadas verdes nas áreas urbanas.

Palavras-chave: Fachadas Verdes, Desempenho Térmico Urbano, Sustentabilidade

## **ABSTRACT**

Searching for more sustainable solutions to urban development, the use of façades covered with greenery, or green walls, has been proposed as a tool to minimize effects of climate change in large cities. However, it is necessary to quantify the environment benefits and impacts on urban temperature reduction from such walls, since the magnitude of thermal performance obtained can vary.

This research aims to identify the impact of green walls in urban thermal behavior. It presents an analysis of climate variables behavior in the surrounding of a green wall and a bare wall, both located in the same microclimate, in the city center of Madrid, Spain. The climate variables studied were temperature, humidity, solar radiation and wind speed and direction, and data were collected at different seasons and day hours.

The results demonstrate a significant impact on the thermal behavior due to the presence of greenery. The case study results indicate a potential thermal reduction of the green wall, and the best results were obtained on a hot and dry summer day, with variations around 2.5 °C and 2.9 °C, measured at 0.5 m of distance the green wall.

In conclusion, the results presented are in accordance with similar studies conducted in other countries, which attest to a positive impact on thermal reduction due to the application of green walls in urban areas.

**Key-words:** Green Wall, Urban Thermal Performance, Sustainability

## ABREVIATURAS

AEMET - Agência Estatal de Meteorologia do Governo de Espanha

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Método de Avaliação Ambiental, Fundação de Pesquisa em Edificações)

CMHC - Canada Mortgage and Housing Corporation (Corporação Canadense de Habitação)

CMMAD - Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento ou Comissão de Brundtland

CUGE - Centre for Urban Greenery and Ecology (Centro para Vegetação Urbana e Ecologia)

DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Conselho Alemão para Edifícios Sustentáveis)

EPA - Environment Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)

FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Sociedade de Pesquisa para o Desenvolvimento Urbanístico e Paisagismo)

IGRA - International Green Roof Association (Associação Internacional de Telhados Verdes)

iiSBE - International Initiative for a Sustainable Built Environment (Iniciativa Internacional para Sustentabilidade do Ambiente Construído)

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design (Liderança em Energia e Design Ambiental)

NUS - National University of Singapore (Universidade Nacional de Singapura)

ONU - Organização das Nações Unidas

PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas

SBTool - Sustainable Building Tool (Ferramenta para Construção Sustentável)

UE - União Europeia

UNEP - United Nations Environment Programme (Programa Ambiental das Nações Unidas)

USGBC - U.S Green Building Council (Conselho Norteamericano para Construções Verdes)

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$  - Área representativa ( $m^2$ )

KJ - Quilojoules

P1 a P4 - Pontos a distâncias fixas das Fachada 1 e 2 (respectivamente a 0,5 m, 1,5 m, 3,0 m e 5,0 m)

$Q$  - Quantidade de calor (KJ);

$T_f$  - Temperatura final ( $^{\circ}C$ );

$T_i$  - Temperatura inicial ( $^{\circ}C$ );

$V$  - Volume representativo ( $m^3$ );

W – Watts

$^{\circ}C$  – Graus Celsius

$c$  - Calor específico (KJ/Kg $^{\circ}C$ );

$d$  - Largura da seção representativa (m);

$l$  - Comprimento da seção representativa (m);

$m$  - Massa (Kg)

mV - Milivolts

$n$  - Ponto atual

$n - 1$  - Ponto anterior

$q_{n_h}$  - Leitura horizontal do Piranômetro para o ponto “n” (KJ/h)

$q_{n_v}$  - Leitura vertical do Piranômetro para o ponto “n” (KJ/h)

$w$  - Altura da seção representativa (m)

$\alpha$  - Refletância

$\rho$  - Densidade

$\sigma$  - Absortância

$\tau$  - Transmissividade



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Motivação .....	2
1.3. Questão a investigar.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.5. Estrutura da dissertação .....	3
2. ESTADO DA ARTE.....	5
2.1. Sustentabilidade urbana.....	5
2.2. Desempenho e conforto térmico urbano.....	7
2.2.1. Conceitos e definições .....	7
2.2.2. Escala de microclima.....	9
2.3. Fachadas verdes .....	10
2.3.1. Conceito e classificação .....	10
2.3.2. Relação com a sustentabilidade urbana .....	11
2.4. Enquadramento Internacional.....	12
2.4.1. Políticas de incentivo e implementação.....	12
2.4.2. Metodologia de avaliação e certificação .....	17
2.5. Desempenho térmico das fachadas verdes: estudos de caso .....	18
2.6. Síntese.....	27
3. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	29
3.1. Método de investigação .....	29
3.2. Método experimental.....	30
3.2.1. Método de coleta de dados .....	31
3.2.2. Equipamentos .....	33
3.2.3. Validação de dados.....	33
3.2.4. Método de análise de dados.....	34

3.3. Casos de estudo .....	35
3.3.1. Caracterização climática do contexto: Madrid .....	35
3.3.2. Estudo de caso 1 .....	38
3.3.3. Estudo de caso 2 .....	40
3.3.4. Delimitação da pesquisa .....	42
3.3.5. Monitoramento e coleta de dados .....	44
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	47
4.1. Introdução .....	47
4.2. Primeira campanha de medições .....	48
4.2.1. Perfil comportamento térmico da primeira campanha .....	51
4.3. Segunda campanha de medições .....	56
4.3.1. Perfil comportamento térmico segunda campanha.....	58
4.3.2. Radiação solar.....	62
4.3.3. Caracterização da Fachada 2 .....	63
4.3.4. Conversão de radiação solar .....	66
4.4. Síntese.....	67
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	69
5.1. Primeira campanha .....	69
5.2. Segunda campanha .....	69
5.3. Primeira campanha versus segunda campanha.....	70
5.4. Discussão dos resultados e problemáticas .....	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
6.1. Conclusão .....	73
6.2. Recomendações futuras .....	74
7. REFERÊNCIAS.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil urbano de ilha de calor, adaptado (EPA, 2008), elaboração própria (2016)	7
Figura 2. Fenômenos que influenciam a microescala, adaptado (Voogt, 2007), elaboração própria (2016).....	10
Figura 3. Complexo Potsdamer Platz, em Berlim (Sebassetmanagement, 2011) .....	13
Figura 4. Biblioteca da Universidade Tecnológica de Delft, em Holanda (Uffelen, 2011)	15
Figura 5. Musée du quai Branly, em Paris (Blanc, 2012) .....	16
Figura 6. Sistemas diferentes de fachadas verdes (Wong <i>et al.</i> , 2010) .....	24
Figura 7. Posição dos registradores para medição de temperatura/umidade relativa (Wong <i>et al.</i> , 2010).....	24
Figura 8. Fachadas verdes analisadas Países Baixos, província de Zuid-Holland (Ottelé <i>et al.</i> , 2011).....	26
Figura 9. Mapa de temperatura média anual em Madrid (Consejería del Medio Ambiente y Ordenación del Terriorio Comunidad de la Madrid, 2014).....	35
Figura 10. Distribuição anual, dos meses de setembro e novembro de direção predominante dos ventos (%) em Madrid, Barajas de 2002 a 2015 (Windfinder, 2015).....	37
Figura 11. Direção predominantes dos ventos nos meses de setembro e novembro (%) em Madrid, Retiro de 2011 a 2012 (Windfinder, 2015).....	37
Figura 12. Localização espacial do estudo de caso em Retiro, Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015) .....	38
Figura 13. Eco-Boulevard e área urbana adjacente em Vallecas, Madrid (Arana, Franchini, 2014).....	38
Figura 14. Ecossistema urbano composto por “Árvores de Ar” com estrutura metálica cilíndrica (Tato, Vallejo, García-Setién, 2005) .....	39
Figura 15. Ecossistema urbano “Árvore de Ar” Climática, Lúdica e Mediática acusando ausência de vegetação (Registro fotográfico próprio, 2015).....	40
Figura 16. Localização espacial do estudo de caso jardim vertical situado no Museu Caixa Fórum em Retiro, Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015) .....	41
Figura 17. Jardim vertical localizado junto ao Museu Caixa Fórum, Fachada 1 (Registro fotográfico próprio, 2015) .....	41
Figura 18. Fachada “convencional” sem vegetação, Fachada 2 (Registro fotográfico próprio, 2015) .....	42

Figura 19. Posicionamento das Fachadas 1 e 2 “ <i>in situ</i> ” .....	42
Figura 20. Localização espacial das estações metereológicas Chamberi (A) e Alameda (B) em Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015) .....	43
Figura 21. Distâncias das medições realizadas nas fachadas 1 e 2 (Elaboração própria, imagem obtida google earth, 2015) .....	44
Figura 22. Pontos de colecta de dados nas fachadas 1 e 2 (Elaboração própria, imagem obtida google earth, 2015) .....	45
Figura 23. Condições metereológicas medidas na estação Madrid-Alameda entre 23 e 25 de setembro de 2015 (Elaboração própria, dados obtidos em Weather Underground, 2015) .....	52
Figura 24. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 1 .....	53
Figura 25. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 2 .....	54
Figura 26. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 3 .....	54
Figura 27. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, Fachada 1 e 2, no Ponto 4	54
Figura 28. Variação de temperatura, em primeira campanha entre pontos análogos .....	55
Figura 29. Condições metereológicas medidas na estação Madrid-Alameda nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015 (Elaboração própria, dados obtidos em Weather Underground, 2015) .....	59
Figura 30. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 1 .....	60
Figura 31. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 2 .....	60
Figura 32. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 3 .....	61
Figura 33. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, Fachada 1 e 2, no Ponto 4	61
Figura 34. Variação de temperatura, na segunda campanha entre pontos análogos .....	62
Figura 35. Conversão de radiação solar em temperatura submetida a Fachada 2 .....	66
Figura 36. Conversão de temperatura na Fachada 2 aplicada ao Ponto 1, na segunda campanha .....	67

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Fases de desenvolvimento das políticas de coberturas verdes, adaptado (CMH, 2006), atualização própria (2015).....	14
Tabela 2. Síntese de investigações realizadas em diferentes países sobre fachadas e telhados verdes (Elaboração própria, 2016) .....	20
Tabela 3. Resumo das temperaturas ambiente medidas (Wong <i>et al.</i> , 2010).....	25
Tabela 4. Média dos valores climatológicos normais (1981-2010), em Retiro, Madrid (Agência Estatal de Meteorologia de Madrid, 2015).....	36
Tabela 5. Resumo das condições meteorológicas encontradas <i>in situ</i> na primeira campanha .....	48
Tabela 6. Valores climatológicos medidos <i>in situ</i> , em primeira campanha no período matutino Fachada 1 e Fachada 2.....	49
Tabela 7. Valores climatológicos medidos <i>in situ</i> , em primeira campanha no período diurno Fachada 1 e Fachada 2 .....	50
Tabela 8. Valores climatológicos medidos <i>in situ</i> , em primeira campanha no período vespertino Fachada 1 e Fachada 2 .....	51
Tabela 9. Resumo das condições meteorológicas encontradas <i>in situ</i> na segunda campanha .....	56
Tabela 10. Valores climatológicos medidos <i>in situ</i> , em segunda campanha no período matutino Fachada 1 e Fachada 2.....	57
Tabela 11. Valores climatológicos medidos <i>in situ</i> , em segunda campanha, no período diurno.....	57
Tabela 12. Valores climatológicos medidos <i>in situ</i> , em segunda campanha, no período vespertino Fachada 1 e Fachada 2 .....	58



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

Em decorrência do exponencial crescimento populacional no mundo que ocasiona um adensamento demográfico nos grandes centros urbanos, e consequente necessidade em aumentar a densidade de construções para atender a demanda mundial, vivenciamos atualmente diversas problemáticas ambientais e de conforto dos habitantes das cidades. A presença de fachadas verdes em grandes centros urbanos se apresenta como potencial ferramenta de combate aos efeitos do fenômeno “ilha de calor”, uma das principais consequências negativas associadas às problemáticas ambientais de conforto térmico urbano. No entanto, ainda não se tem um completo entendimento de todos os fenômenos e benefícios obtidos na aplicação de fachadas verdes, devido às variações de comportamento dos sistemas diferenciados de fachadas verdes existentes, a diversidade de regiões e condições climáticas encontradas.

Estudos sobre a aplicação e comportamento dos diferentes sistemas de fachadas verdes têm sido desenvolvidos com maior frequência nos últimos trinta anos em países europeus como Alemanha, Espanha, Grécia, Holanda e Itália, em países asiáticos como Japão e China, além de pesquisas desenvolvidas na América do Norte e Sul. As fachadas verdes podem ainda minimizar outras problemáticas associadas aos impactos negativos gerados pela urbanização, tendo potencial para contribuir na melhoria da eficiência energética dos edifícios, no incremento estético e paisagístico, no manejo de áreas verdes na urbanização, no aumento da umidade relativa, na melhoria da qualidade do ar (como sumidouro de gases poluentes) e, ainda, na preservação da biodiversidade local.

Com efeito, as fachadas verdes podem contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do meio ambiente urbano, que atualmente encontra-se a se desenvolver de forma insustentável. Na busca e necessidade de urbanizações e cidades mais sustentáveis, as fachadas verdes, são capazes de fornecer um maior conforto climático urbano, devido à sua capacidade de redução térmica. Somados a estes, pode-se observar benefícios sociais e estéticos, se tornando um sistema determinante no que se refere ao processo de regeneração de áreas urbanas. No entanto, é necessário quantificar os benefícios ambientais gerados na

aplicação de fachadas verdes dado que a magnitude do desempenho térmico que potencialmente será atingido em sua aplicação é variável.

## **1.2. Motivação**

Em âmbito internacional, a mitigação das alterações climáticas é tratada pela ONU (Organização das Nações Unidas). Dada a abrangência do tema, tal organização desenvolve, desde 2001, o UNEP (United Nations Environment Programme), um programa ambiental dedicado à redução e prevenção de emissão de gases de efeito estufa.

Na Europa, encontramos as mesmas prioridades em combater as alterações climáticas, cujos objetivos são direcionados pela Acção Climática da UE (União Europeia, 2006). Trata-se também de um dos cinco temas principais da estratégia Europa 2020, que visa um crescimento inteligente baseado no conhecimento e na inovação, um crescimento sustentável na eficiência de recursos e um crescimento inclusivo com elevados níveis de emprego. Os objetivos específicos de tal estratégia visam assegurar que, até 2020, haja uma diminuição de 20% das emissões dos gases de efeito estufa na União Europeia, que a vigésima parte da energia produzida a partir de fontes renováveis aumente para 20%, e que a eficiência energética seja melhorada em 20%. Em junho de 2009, entrou em vigor no continente europeu um pacote de medidas legislativas vinculadas ao clima e à energia (Europeia, 2014).

Em Portugal, diretrizes para alterações climáticas, eficiência energética e demais temas que se enquadram nos padrões de sustentabilidade defendidos adotados pela UNEP e UE são também adotados pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente). O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) delimita o cumprimento dos objetivos nacionais no que se refere às alterações climáticas, e reúne um conjunto de políticas e medidas para a potencial redução de emissões de gases do efeito estufa.

## **1.3. Questão a investigar**

O questionamento da investigação foi verificar: *Qual a influência de uma fachada verde na variação do comportamento térmico no microclima urbano, submetido às condições externas, localizado na cidade de Madrid, em Espanha?*



## 1.4. Objetivos

A investigação tem como objetivo central identificar o impacto da presença de uma fachada verde no comportamento térmico urbano, na escala de microclima. Para tanto, é necessário quantificar o comportamento térmico na aplicação de uma fachada recoberta por vegetação e uma fachada “convencional”, sem vegetação, em função de dados físico-ambientais em diferentes épocas do ano e períodos do dia.

Para contemplar o objectivo descrito e responder à questão de investigação, os objetivos específicos incluem:

- i. Quantificar, descrever e comparar o comportamento dos dados físico-ambientais coletados *in situ* de variáveis climáticas de temperatura, umidade do ar, radiação solar, velocidade e direção dos ventos no microclima em estudo;
- ii. Analisar os resultados obtidos das variáveis climáticas encontradas *in situ* e o comportamento térmico urbano das fachadas verde e “convencional”, nas diferentes épocas do ano e períodos do dia.

## 1.5. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos. O primeiro capítulo introduz a temática da investigação, e apresenta um breve enquadramento e motivação, a questão de investigação, os objectivos gerais e específicos.

O segundo capítulo aborda o estado da arte, onde são inicialmente abordados os conceitos que envolvem a construção sustentável e a sustentabilidade urbana, seguido da problemática relacionada aos conceitos do desempenho e conforto térmico urbano e breve descrição das escalas urbanas. O capítulo direciona-se posteriormente para a classificação das fachadas verdes em ambientes construídos, e apresenta tópicos necessários para maior entendimento da temática, sendo descritas algumas das políticas internacionais de incentivo, implementação e metodologia de avaliação dos sistemas de fachadas e coberturas verdes. Descreve ainda estudos sobre os principais contributos das fachadas verdes para o meio ambiente urbano.

No terceiro capítulo apresenta-se o enquadramento metodológico da investigação. Descreve-se os métodos de coleta e de análise de dados utilizados. Apresenta-se, também, a caracterização climática da cidade de Madrid, os estudos de caso e suas condicionantes em campo, seguido da delimitação da pesquisa e detalhamento do monitoramento e coleta de dados realizados em duas campanhas de medições *in situ*.

No capítulo quarto são apresentados os resultados quantitativos obtidos nas duas campanhas de medições realizadas *in situ*, e a análise comparativa entre as campanhas.

No quinto capítulo são discutidos os resultados e analisadas as tendências de comportamento térmico encontradas em campo. Traz ainda uma exposição de questões e problemáticas encontradas ao longo da investigação.

O último capítulo apresenta as principais conclusões sobre a pesquisa, as limitações encontradas ao longo do desenvolvimento da mesma, as tendências relevantes de comportamento e aponta as recomendações para trabalhos futuros.

## **2. ESTADO DA ARTE**

O Estado da Arte busca o conhecimento básico necessário ao entendimento do problema e do método da pesquisa. O levantamento foi baseado em livros, artigos científicos e dissertações. Para aprofundar o tema e relacioná-lo ao objetivo da pesquisa, um levantamento das principais publicações científicas sobre o comportamento das fachadas, telhados e coberturas verdes no desempenho térmico de paredes foi registrado.

### **2.1. Sustentabilidade urbana**

Ao tratarmos da sustentabilidade urbana, a mesma também deve abranger os três eixos básicos do desenvolvimento sustentável, nos âmbitos económico, social e ambiental. O conceito de desenvolvimento sustentável foi definido pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD) ou Comissão de Brundtland, por meio de estudos da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre as mudanças climáticas, devido à crise social e ambiental vivenciada mundialmente a partir da segunda metade do século XX. No relatório de Brundtland, encontra-se descrito este conceito que é um dos mais utilizados e difundidos nas últimas décadas. Tal documento expressa os objetivos propostos para a sustentabilidade, para a preservação do planeta e condições de habitação da actual população e gerações futuras, garantindo “um desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer as gerações futuras”. O relatório de Brundtland evidencia a necessidade de encontrar novas formas de desenvolvimento económico, sem que haja diminuição dos recursos naturais e sem danos causados ao meio ambiente (Brundtland, 1987 *apud* Lucas, 2011).

O desenvolvimento sustentável é um conceito muito mais amplo do que a proteção do meio ambiente. Inclui preocupações em relação à qualidade de vida, à equidade entre as pessoas no presente e nas gerações futuras, e a preocupação com as problemáticas sociais, sanitárias e éticas. Configura-se, portanto, em um equilíbrio entre os aspectos relacionados ao desenvolvimento económico, equidade social e protecção ambiental (Caballero, 2005).

Desde a década de 1990, são reconhecidos os princípios nos quais a sustentabilidade urbana deve se embasar, ao identificar problemas comuns em áreas urbanas e pontuar os aspectos de

intervenção prioritários. Para Higuera (2009), os seguintes critérios são verificados como pontos-chave para a sustentabilidade urbana:

- i. a densidade urbana onde se estabelece a relação entre o número de pessoas e ocupação do território;
- ii. a variedade e complexidade dos tipos de edifício e estruturas morfológicas urbanas;
- iii. o uso misto dos espaços com base em limites ambientais, flexibilidade temporal e espacial para um melhor aproveitamento do espaço e desempenho, evitando arranjos urbanos monofuncionais;
- iv. o sistema de zonas verdes e espaços livres com adequada qualidade e quantidade permitindo zonas ambientalmente equilibradas com biodiversidade e condições climáticas confortáveis;
- v. a otimização de redes de abastecimento e infraestrutura urbana com critérios de eficiência em quantidade e localização;
- vi. a gestão sustentável do tráfego urbano;
- vii. a gestão dos resíduos sólidos urbanos com medidas de redução e reutilização em todas as escalas;
- viii. a valorização e preservação ambiental das áreas naturais no perímetro urbano; e
- ix. a coesão social com equidade e participação da cidadania, onde se estabeleça um conjunto urbano funcional e com benefícios sociais.

Encontra-se, no entanto, uma série de problemáticas ambientais associadas ao meio ambiente urbano: ilhas de calor que apresentam um efeito climático de aumento de temperatura nos centros urbanos, poluição da água, ar e solo afetados pelos resíduos sólidos, líquidos e de emissões gasosas produzidos ao longo das cadeias e processos industriais, além de poluição sonora e visual (Chango, 2010).

Em consonância com o desenvolvimento sustentável, a construção sustentável surge com preocupações ambientais relacionadas ao consumo de recursos, as emissões de gases poluentes, à saúde e à biodiversidade. Consiste em um conceito construtivo que promove alterações conscientes no que diz respeito à forma de atender às necessidades das edificações e da habitação do homem moderno. Assim, preserva-se o meio ambiente e os recursos naturais garantindo a resolução das problemáticas supracitadas (Bruntland, 1987 *apud* Santo, 2010).

## 2.2. Desempenho e conforto térmico urbano

### 2.2.1. Conceitos e definições

Com a expansão drástica dos espaços urbanos, especialmente após a Revolução Industrial, o tipo de ocupação e as características físicas do solo nas urbanizações sofreram intensas modificações. O solo, que era anteriormente em sua maioria recoberto por vegetação natural, hoje é impermeabilizado, na grande maioria de sua extensão, por asfalto e betão. As modificações ocorridas nas propriedades da superfície do solo em função da impermeabilização, associado ao aumento de construções compactas devido ao adensamento populacional e a ausência de vegetação natural nas zonas urbanas resultam em alterações locais de condições climáticas. Tal fenómeno denomina-se “ilha de calor” urbano. As ilhas de calor ocorrem especialmente em zonas centrais de grandes aglomerados urbanos, onde se verifica um aumento significativo da temperatura do ar quando comparado aos espaços em zonas rurais. Observa-se assim que, o tipo de ocupação do solo tem um papel extremamente relevante na determinação das condições climáticas urbanas (Cortesão *et al.*, 2009). Tal fenómeno é representado na Figura 1, no qual as áreas urbanas exibem temperaturas relativamente maiores do que as encontradas nas áreas rurais e/ou periféricas com vegetação abundante.

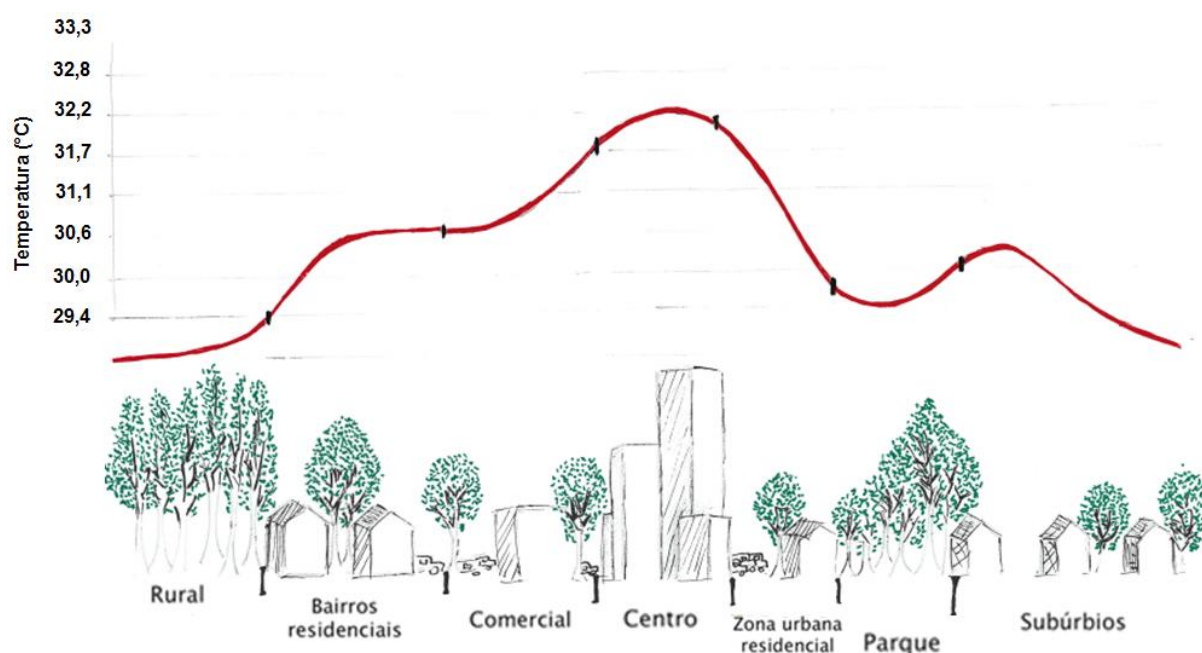


Figura 1. Perfil urbano de ilha de calor, adaptado (EPA, 2008), elaboração própria (2016)

O efeito de “ilha de calor” em áreas urbanas resulta em diversas problemáticas ambientais, a citar: uma maior demanda energética para que se possa atender as necessidades de arrefecimento, o que consequentemente acarreta em um aumento de impactos ambientais devido à extracção de recursos e aumento de poluentes na atmosfera e custos elevados para atender a demanda de energia gerada (Santamouris, 2013).

Em decorrência desses efeitos ambientais negativos ocasionados pela urbanização, se faz necessária a busca de soluções mais sustentáveis para a problemática do desempenho térmico urbano, que deve avançar devido a crescente carência e qualidade de melhorias nas áreas urbanas para que seu desenvolvimento contemple o conforto dos usuários urbanos e aconteça de modo sustentável (Quental, Lourenço, Silva, 2011).

A qualidade destes espaços públicos e a sua adequada utilização dependem das condições que o próprio espaço oferece, abrangendo questões de nível funcional e de conforto térmico. As principais actividades exteriores realizadas nos espaços públicos, dividem-se essencialmente em três categorias, onde cada uma dessas actividades se distingue por exigências funcionais e do entorno físico sendo, actividades necessárias, actividades opcionais e actividades sociais. Tais actividades exteriores estão directamente relacionadas à qualidade do espaço público (exterior). Se os espaços públicos oferecem baixa qualidade, as actividades exteriores realizadas restringem-se as actividades necessárias. Ao passo que, quando os espaços públicos oferecem boa qualidade, todas as actividades exteriores são plenamente exercidas incluindo actividades exteriores opcionais e sociais (Gehl, 2006).

Ao falarmos em conforto térmico urbano, vamos para além das problemáticas ambientais associadas as ‘ilhas de calor’ as quais são ocasionadas especialmente pelo tipo de ocupação do solo. Tal conforto térmico urbano abrange condições fisiológicas e de bem-estar psicológico dos usuários em espaços públicos e dos grandes centros urbanos ao desenvolverem suas actividades. Seis variáveis afectam o conforto térmico em ambientes externos, ao ar livre. A radiação solar, ao fornecer calor para o metabolismo humano de termorregulação, a exposição do corpo humano ao vento pela troca de calor através da convecção, e as variáveis climáticas de temperatura e umidade do ar ambiente também afetam o conforto térmico humano. Somados a estes, podemos considerar factores adicionais que

passam pelos níveis de metabolismo da actividade humano e vestimenta (Bosselmann *et al.*, 1995).

Observa-se que quanto maior o adensamento ao nível de ocupação do meio ambiente urbano, tanto menor se encontra sua capacidade em realizar trocas de calor por radiação em espaços públicos, o que favorece a formação das “ilhas de calor” nas áreas urbanas mais densamente construídas. Tal agravamento de desconforto térmico urbano se deve ao fato de ocasionar uma diminuição na ventilação, que afecta directamente as variáveis ambientais de temperatura e umidade do ar, e que é agravada por uma baixa concentração ou ausência de vegetação nas áreas urbanizadas.

### *2.2.2. Escala de microclima*

As variações de temperatura superficiais e atmosféricas podem ocorrer nas áreas urbanas em duas escalas distintas, distinguindo os fenômenos que as influenciam: a mesoescala e microescala. Na microescala são tratadas as variações climáticas que são produzidas em pequenas distâncias como alguns metros, devido à interação da atmosfera com diversificados elementos urbanos (edifícios, ruas, praças, jardins, fontes antropogénicas, entre outros). Em mesoescala são analisadas as variações climáticas produzidas por um conjunto urbano englobando alguns quilómetros, podendo-se ainda considerar factores e características da topografia (Voogt, 2003).

Para realização de medições em escala de microclima, normalmente a tomada de dados é realizada a uma altura entre 1,3 e 2 metros, com a colocação dos sensores estrategicamente posicionados na área urbana, com proteção direta da radiação e considerando-se a ventilação. Na Figura 2, podem ser observadas as influências potencialmente encontradas em escala de microclima urbano.

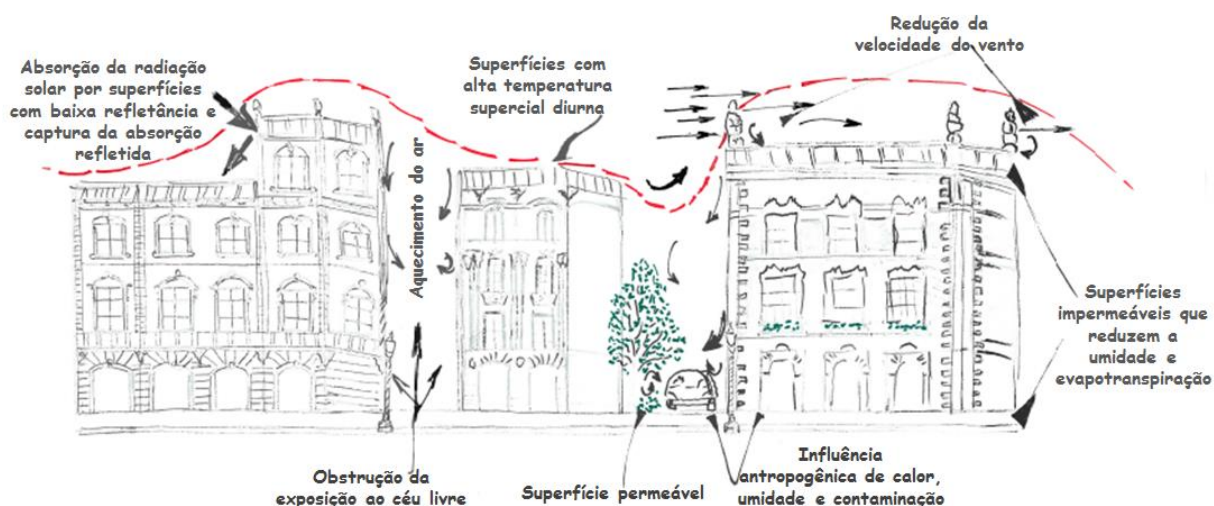


Figura 2. Fenômenos que influenciam a microescala, adaptado (Voogt, 2007), elaboração própria (2016)

## 2.3. Fachadas verdes

### 2.3.1. Conceito e classificação

Nesse trabalho, são definidas como fachadas verdes toda técnica ou sistema que utiliza vegetação (plantas) para recobrir a superfície de uma parede externa (podendo ainda ser interna) de um edificado ou ambiente construído. A denominação adotada ao sistema é diversificada e varia de acordo com sua tipologia, embora haja termos sinônimos e denominações de culturas locais.

Existem ainda diversas designações, sendo as mais conhecidas Paredes Verdes, Paredes Vivas e Jardim Vertical, englobando um conjunto de outras técnicas, aplicações e fins na sua utilização. Em literatura internacional é tratada por nomes como *Greenary system*, *Green Façade*, *Vertical Gardens*, *Mur Vert*, *Fassadenbegrünung*, *Living Wall System* e *Green Wall* (Junior, 2014). Salvaguardando as denominações expostas, e por se tratar de um estudo que envolve a vegetação associada à diferentes técnicas com suporte exterior, a definição assumida ao longo de toda a dissertação é a de Fachada Verde.

As primeiras vantagens e pontos fortes que se destacam na aplicação de fachadas verdes em áreas urbanas são que, estas promovem a biodiversidade integrada aos centros urbanos e o proporcionam bem-estar visual e psicológico. Entretanto, seus benefícios extrapolam os conceitos de conforto visual e estético, abrangendo de forma eficaz a melhoria de qualidade



do ar nas cidades. A aplicação deste tipo de fachadas proporciona efeito de isolamento térmico nos edifícios, o que acarreta na redução de consumo de energia e eficiência energética. Um dos pioneiros e paisagistas mais importantes do século XXI foi o brasileiro Burle Marx (1909-1994), que empenhou sua investigação na aplicação de jardins verticais e integrou importantes espécies de plantas autóctonas em sua criação, por serem mais sustentáveis (Blanc, 2012).

### *2.3.2. Relação com a sustentabilidade urbana*

A crescente concentração da população em áreas urbanas e consequente expansão do espaço e densidade ocasionam um aumento de superfícies impermeáveis o que implica em numerosas consequências ambientais danosas nas urbanizações. Segundo vários autores, é possível minimizar e melhorar a qualidade e conforto das áreas urbanas com a aplicação de fachadas verdes, sendo que estas podem contribuir para minorar efeitos ambientais negativos, a saber:

- Ilha de Calor: é possível minimizar os efeitos de ilha de calor nas áreas urbanas, pois a presença de vegetação nas fachadas verdes atenuam as altas temperaturas observadas nos centros urbanos, devido ao aumento de sombreamento e umidade relativa do ar;
- Desempenho térmico e energético: é possível atingir um efeito de isolamento térmico na aplicação de fachadas verdes, devido a redução de penetração da luz ultravioleta no verão. Dessa forma, é possível observar melhores condições climáticas devido aos efeitos de resfriamento e evaporação da vegetação, sendo viável observar economias de energia na necessidade de arrefecimento no verão;
- Poluição do ar: as fachadas verdes podem integrar estratégias para soluções de problemáticas associadas a poluição do ar, na escolha adequada de sistemas biológicos que ajudam a reduzir os contaminantes presentes no ar purificando-o, e na captação de carbono;
- Utilização de espaços verdes urbanos: ao fornecer benefícios psicológicos aos usuários urbanos, devido ao aumento do acesso a espaços naturais que proporcionam relaxamento e promovem benefícios estéticos e funcionais de satisfação (Santamouris, 2013).

O potencial das fachadas verdes em melhorar o microclima urbano e pegada ecológica dos edifícios é alta, e quando utilizadas de forma adequada e criativa podem agregar aos edifícios características urbanas que vão ao encontro do desempenho urbano sustentável, compensando a ausência de espaços verdes nas urbanizações e aumentando o conforto e bem estar dos usuários urbanos. No entanto, é observado que o seu potencial em desencadear benefícios ambientais e climáticos estão associados ao tipo de vegetação e densidade da mesma. Assim, a caracterização do tipo de clima e construção são essenciais, bem como do volume de precipitação anual, exposição solar, períodos de seca e direção dos ventos (Perini *et al.*, 2011).

Ainda é possível descrever demais propriedades que estão diretamente agregadas ao desempenho e eficácia das fachadas verdes, a citar: propriedade de isolamento e aspectos associados à durabilidade dos materiais escolhidos, aspectos sobre a manutenção, escolha adequada de plantas diante do clima local, importância e escolha adequada dos materiais envolvidos, integração dos materiais da envolvente, escolha de materiais sustentáveis, simbiose entre substrato e vegetação, aspectos económicos devido à redução de custos energéticos.

## **2.4. Enquadramento Internacional**

### *2.4.1. Políticas de incentivo e implementação*

Até a presente data não foram encontradas publicações de normas técnicas vigentes sobre a instalação, implementação e manutenção diretamente voltadas às fachadas verdes, sendo possível executar sua aplicação de diferentes formas, em diversificadas tipologias para edificações. No entanto, pode-se citar algumas medidas e programas de incentivo que têm sido criados ao longo do tempo e por todo o mundo.

Entre as décadas de 1980 e 1990, começam a ser discutidos mais amplamente os métodos e técnicas para aplicação de coberturas e fachadas verdes. Nesse período, na Alemanha, foi desenvolvido um suporte de pesquisa sólida sobre aspectos técnicos relevantes das coberturas e fachadas verdes. Com base nesta pesquisa, a primeira regulamentação teve origem pela FLL alemã (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) em 1982, com a publicação de um guia sobre “*Princípios para aplicar telhados verdes*”, onde são definidas algumas directrizes fundamentais para construção das coberturas verdes. A FLL continua a

publicar guias, que são melhorados e actualizados desde sua criação, a fim de garantir compreensão aos usuários de especificações técnicas para segurança e confiabilidade na aplicação de coberturas verdes. Nas últimas três décadas, desde a década de oitenta, podemos ainda observar uma variedade de incentivos políticos na implementação e uso das fachadas verdes em cidades da Alemanha. A citar estímulos financeiros directos e indirectos (com a redução de taxas), onde ao implementar telhados e fachadas verdes é possível enquadrá-la na lei alemã de Proteção à Natureza (Bundesnaturschutzgesetz), que exige medidas de compensação ecológica e mitigação aos danos à natureza e à paisagem causados pela impermeabilização do solo. Na Figura 3, pode-se observar o complexo Potsdamer Platz, com uma área comercial considerada exemplo de baixos impactos ambientais e nomeadamente o primeiro espaço de uma cidade a receber o certificado de sustentabilidade do Cômite Alemão dos Edifícios Sustentáveis DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) (Sebassetmanagement, 2011).



Figura 3. Complexo Potsdamer Platz, em Berlim (Sebassetmanagement, 2011)

Em 2006, no Canadá, foi realizada uma publicação pela agência nacional de habitação CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation), nomeadamente “*Green Roofs: A Resource Manual for Municipal Policy Makers*”, onde estão disponíveis resultados de pesquisas acerca de informações, avaliações, práticas, materiais e técnicas que englobam a temática sobre telhados verdes. No manual é possível consultar a evolução e desenvolvimento das políticas e programas referentes às coberturas verdes, podendo ser aplicado também às fachadas verdes, onde as mesmas estão divididas respectivamente em seis fases, desde a conscientização até a melhoria contínua é possível como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Fases de desenvolvimento das políticas de coberturas verdes, adaptado (CMH, 2006), atualização própria (2015)

	Fase 1 Introdução/ Conscientização	Fase 2 Engajamento Comunitário	Fase 3 Plano de acção/ Implementação	Fase 4 Investigação Técnica	Fase 5 Programas/ Políticas	Fase 6 Melhoria Contínua
Montréal	✓	✓	✓	✓	*	/
Toronto	✓	✓	✓	✓	/	/
Vancouver	✓	✓	✓	✓	/	/
Chicago	✓	✓	✓	✓	✓	/
Tokyo	✓	✓	✓	✓	✓	*
New York	✓	✓	✓	✓	*	/
Portland	✓	✓	✓	✓	*	*
Singapore	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Suiça	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Berlim	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Holanda	✓	✓	✓	✓	✓	✓
França	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ em andamento  
\* iniciado  
/ sem informação

**Fase 1** – Introdução e conscientização: se caracteriza pela realização de acções que buscam informações a respeito de méritos e benefícios ambientais na aplicação de telhados verdes. Para desenvolvimento do tema são propostos seminários, oficinas, conferências, debates com o intuito de sensibilizar e fomentar a discussão sobre telhados verdes;

**Fase 2** – Engajamento comunitário: se buscam métodos para melhoria do perfil local de telhados verdes. São promovidas reuniões com a presença de líderes comunitários, prefeitos, arquitectos, profissionais de paisagismo, sector privado e especialistas ambientais, onde serão apontadas oportunidades, fontes de financiamento, programas governamentais, serviços públicos ou privados para a negociação e desenvolvimento dos telhados verdes;

**Fase 3** – Desenvolvimento do plano de acção e implementação: são criados grupos de trabalho especializados para elaboração de estudos aprofundados, dados de pesquisas locais, equipamentos de monitoramento, estabelecimento de um banco de dados ou inventário, busca e revisão de ferramentas e políticas existentes, programas e oportunidades identificadas;

**Fase 4** – Investigação técnica: caracterizada pela quantificação dos benefícios das coberturas verdes, envolvendo a avaliação de sua capacidade em mitigar efeitos de ilha de calor, gestão de águas pluviais e demais benefícios ambientais. A técnica de investigação utilizada para o levantamento e coleta de dados ocorre através da monitorização de projetos ou instalações de telhados verdes, os resultados são posteriormente compartilhados em anais de congressos e conferências internacionais, artigos internacionais e livros;

**Fase 5** – Programa e política de desenvolvimento: ocorre uma expansão e inclusão de profissionais paisagistas, horticultores, *designers* e planejadores de políticas públicas

municipais. Tais especialistas trabalham em conjunto a fim de estabelecer as melhores práticas e adaptação da legislação e regulamentação existente;

**Fase 6 – Melhoria contínua:** são avaliadas a eficácia de políticas e programas utilizados onde se reúnem informações (colectadas e avaliadas na fase 4 e 5) para decisão de continuar no caminho escolhido ou se haverá necessidade em explorar outras opções; para tal avaliação são consultados diversos profissionais e especialistas de áreas afins, onde será verificado o atendimento dos objectivos iniciais do projeto de implementação dos telhados verdes.

Nesse contexto, a IGRA (International Green Roof Association) em reconhecimento à relevância dos telhados verdes como importante componente para o desenvolvimento urbano sustentável, disponibiliza uma plataforma para a promoção e disseminação mundial de informações e fatos referenciados em conferências e congressos, que reúnem especialistas de diversas áreas (Ngan, 2004). Na cidade de Roterdã, Holanda, desde 2008, a fim de melhorar o meio ambiente urbano em relação ao seu microclima, foi criado um intenso programa de incentivo à instalação de telhados verdes e o incentivo em se “ajardinar” os edifícios, seja por telhados ou fachadas verdes. O município oferece ao proprietário um subsídio financeiro directo para viabilizar a instalação e telhados verdes (sendo o subsídio financeiro proporcional ao benefício ambiental proporcionado pelo tipo de instalação). Um edifício emblemático construído na Holanda em 1997 é a Biblioteca da Universidade Tecnológica de Delft, onde para além de ser nomeada uma das bibliotecas mais bonitas do mundo, apresenta um edifício totalmente recoberto por vegetação, como pode ser observado na Figura 4.

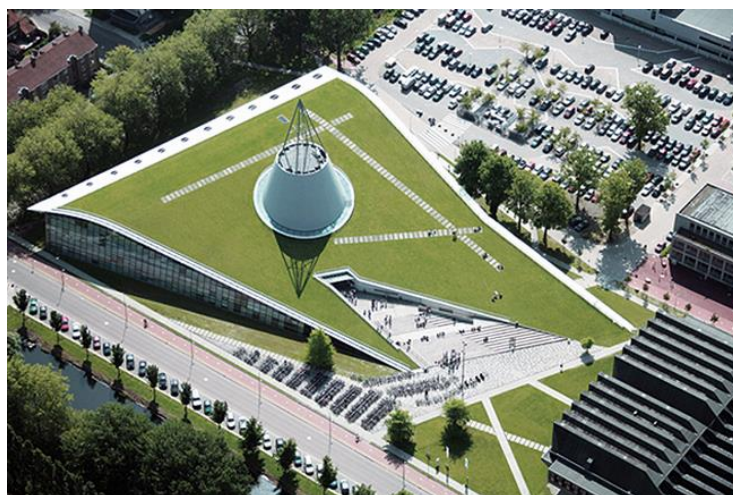


Figura 4. Biblioteca da Universidade Tecnológica de Delft, em Holanda (Uffelen, 2011)

Também em França, desde 2006, pode-se encontrar grandes obras de arquitetura paisagista projetadas pelo francês Patrick Blanc, que de forma significativa e com reconhecimento mundial, desenvolve projetos inovadores com padrões mais naturais e ecológicos, sendo descrito como o inventor do jardim vertical. Na Figura 5, apresenta-se o Musée du quai Branly, em Paris, uma das obras mais clássicas e impressionistas do paisagista (Uffelen, 2011). Na década seguinte, Patrick Blanc, Doutor em Botânica e PhD desde 1979, desenvolveu uma nova forma de cultivar plantas em superfícies verticais, criando uma alternativa que dispensava o uso e a dependência de espécies trepadeiras. Blanc patenteou os sistemas conhecido por fachadas vivas, ou também denominado por ele de jardins verticais em 1988 e 1996, após décadas de estudos de plantas nativas e exóticas adequadas para o seu sistema (Blanc, 2011).



Figura 5. Musée du quai Branly, em Paris (Blanc, 2012)

No ano de 2015, foi implementado pelo governo Francês uma lei que obriga todos os novos prédios comerciais a terem telhados verdes ou placas solares. Esta legislação foi aprovada pelo Parlamento Francês. Tal lei está fundamentada em assegurar o desenvolvimento sustentável, do setor da construção civil em todo país, garantindo menor impacto ao meio ambiente ao construir novas edificações, e buscando soluções inovadoras que garantam ainda o conforto dos usuários (Verde, 2015).

Em Espanha, foi constatado por meio de projetos piloto que telhados, jardins verticais e bosques urbanos reduzem em 14% o consumo energético dos edifícios no verão e de acordo com a Prefeitura de Madrid, foi documentada uma queda de até quatro graus e meio de



temperatura em áreas verdes. A prefeitura de Madrid em janeiro do presente ano, lança plano milionário de “renaturalizar a cidade”, onde prevê ampliar parques, criar 22 hortas urbanas e uma escola municipal, transformar terrenos baldios em hortas comunitárias, e ainda cobrir telhados e fachadas com vegetação (El País, 2016).

No Brasil, na cidade de Recife, foi sancionada lei municipal nº 18.111/2015 que obriga novos prédios residenciais, com mais de 4 pavimentos e com área coberta acima de 400 m<sup>2</sup> a implementarem telhados verdes, onde prevê o plantio de gramas, hortaliças, arbustos e árvores de pequeno porte na cobertura dos novos edifícios. O objectivo é aumentar as áreas verdes e diminuir os efeitos de ilha de calor.

#### *2.4.2. Metodologia de avaliação e certificação*

A certificação também constitui-se também como uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento e sustentabilidade do meio ambiente, construções, edificações e gestão de processos. A fim de medir a eficiência de todos os sistemas na obtenção de construções e edifícios mais sustentáveis, diversos países criaram critérios de avaliação para certificação de edifícios. Entre as diversas metodologias de avaliação e certificações ambientais existentes, destacam-se:

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), Reino Unido, 1990: o método de avaliação do desempenho ambiental dos edifícios, abrange 9 categorias (gestão, saúde e bem estar, energia, transportes, consumo de água, materiais, uso do solo, ecologia e poluição) nas várias fases do ciclo de vida do edifício, sendo um dos métodos de avaliação mais conhecidos e podendo ser aplicado em diversos países;
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Estados Unidos, 1996: sistema de avaliação gerido pela organização não-governamental U.S Green Building Council (USGBC) e desenvolvida para ser adoptada por empresas construtoras, projectistas de edifícios verdes nos processos de integração, concepção e construção de edifícios. O sistema abrange 6 categorias de avaliação do desempenho sendo: local sustentável, eficiência da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interior e inovação e processo de design. De destacar que a implementação e aplicação de fachadas verdes nas edificações que buscam certificação LEED, oferece contributo no controle de água de chuvas, na redução do efeito de ilha de calo, no

desempenho da eficiência energética, conforto da ocupação do espaço por parte dos utilizadores e na inovação nas operações;

- SBTool PT (Sustainable Building Tool), Portugal, 2009: sistema de avaliação e certificação sustentável adaptado ao contexto Português, reconhecido pelo consórcio internacional iiSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment) e adequado a partir do SBTool (Sustainable Building Tool) de 2007. O sistema inclui a avaliação de dimensões sociais e económicas para edifícios residenciais abrangendo nove categorias: na dimensão ambiental a avaliação de categorias sobre alterações climáticas e qualidade do ar exterior, uso do solo e biodiversidade, energia, materiais e resíduos sólidos e água, na dimensão social são avaliadas as categorias de conforto e saúde dos utilizadores, acessibilidade, sensibilização e educação para a sustentabilidade e na dimensão social encontra-se a categoria de avaliação dos custos de ciclo de vida. A avaliação e contribuição das fachadas verdes no sistema de avaliação SBTool PT são compreendidas por duas dimensões a ambiental, que apresenta um maior peso na avaliação global de desempenho e sustentabilidade do edifício, e na dimensão social ao colaborar com a saúde e conforto dos utilizadores.

## **2.5. Desempenho térmico das fachadas verdes: estudos de caso**

Esta seção apresenta vários estudos de caso da aplicação de fachadas e telhados verdes, bem como espaços com vegetação que foram objeto de medições *in situ* ou através de simulação e cujos resultados foram apresentados na literatura internacional dos últimos vinte anos. Em primeiro lugar, apresenta-se uma listagem organizada em tabela segundo os parâmetros mais relevantes para a realização desta dissertação e, em seguida, são analisados com maior profundidade os métodos empregues e resultados obtidos em alguns destes estudos. A Tabela 2 sintetiza informações a partir de estudos experimentais e simulações realizadas em diferentes cidades e países. Para tanto, foram recolhidas informações acerca de: localidade em que o estudo foi desenvolvido e simples caracterização do tipo de clima, qual o objeto de estudo com foco em fachada verde, telhado verde ou vegetação aplicada a área urbana, em qual período do ano decorreu o estudo, de que forma foi realizada a coleta de dados *in situ* ou através de simulação, com breve descrição da campanha e quais foram os resultados encontrados.

Assim, tipificaram-se dezenove estudos, correspondendo a oito fachadas verdes, três telhados



verdes e quatro análises de vegetação. Um destes estudos foi publicado em 1987 mas os restantes são posteriores a 2003, tendo dezesseis deles sido publicados há menos de dez anos. Ressalta-se que a totalidade destes estudos reporta às regiões mais desenvolvidas como a Europa, os Estados Unidos, Japão, Singapura, Taiwan e Hong-Kong. Com o objetivo de auxiliar o melhor desenvolvimento da metodologia e resultados a obter no estudo de caso pertinente a esta dissertação, a seleção dos artigos publicados nas revistas com melhor classificação internacional e com revisão isenta, afigura-se o caminho mais adequado. Constatou-se escassez de estudos com coleta de dados *in situ* o que é expectável dadas as dificuldades de colocar sensores em espaço aberto por questões de segurança dos mesmos e pelas variadas condições de campo. Uma pesquisa em espaço público de um centro de investigação associado à Universidade Politécnica de Madrid foi terminada quando um dos sensores foi roubado logo na primeira noite (informação transmitida verbalmente). Igualmente, aquando da coleta de dados, nem sempre é possível obter condições de medição adequadas, pelas dificuldades de acesso, pela existência de outros elementos heterogéneos que criam ensombramento ou que introduzem outras condições microclimáticas como no caso de pontos de água, etc.

Relativamente à coleta de dados *in situ*, confirma-se que cerca de metade destes estudos incidu apenas no período Primavera/Verão, e a outra metade divide-se em estudos que apenas incidiram no período Outono/Inverno ou que abrangeram os dois períodos. Neste contexto de alguma complexidade, as campanhas de medições abrangem normalmente 3 a 4 dias, como pode ser verificado na coluna 10 da Tabela 2, independentemente do local e correspondente tipo de clima em análise. Relativamente aos horários de monitoramento, constata-se a predominância dos horários diurnos, na maior partes das vezes a intervalos regulares. Há no entanto alguns estudos (Pérez *et al.*, 2011; Dimoudí, Nikolopoulou, 2003) que privilegiaram apenas uma coleta em horário fixo às 14 horas. As distâncias de coleta de dados variam entre um mínimo de 0,15 a 0,20 metros e um máximo de 1,00 metros da fachada, telhado ou superfície verde selecionados. Os resultados obtidos nos vários estudos analisados incidem em valores entre 2°C a 6° C de redução da temperatura no microclima devido à existência da fachada, parede, telhado ou superfície verde. Os valores quantificados da redução são apresentados em mais de 80% dos estudos, sendo que noutros não se apresentam os valores. No entanto, realizam conclusões qualitativas sobre a validade da aplicação relativamente na redução de temperatura ambiente, associada ao aumento da evapotranspiração e do albedo.

Tabela 2. Síntese de investigações realizadas em diferentes países sobre fachadas e telhados verdes (Elaboração própria, 2016)

Local	Clima	Objeto de Estudo		Período		Coleta de Dados		Campanha	Resultados	Referências
		Fachada Verde	Telhado Verde	Primav. Verão	Outono Inverno	Simulação	In situ			
Salónica Grécia	Mediterrâneo temperado	✓		✓			✓	3 dias, medições a cada 4 horas		Chatzidimitriou, Yannas, 2004
Singapura	Tropical	✓		✓	✓		✓	3 dias claros, Distâncias: 0,15m/0,30m/0,60m/1,00m	Redução de temperatura ambiente de até 3,33°C, a uma distância de 0,15m.	Wong <i>et al.</i> , 2010
Golmés Spain	Mediterrâneo continental seco	✓		✓			✓	Semanal, às 14h em diferentes pontos de orientação solar	Confirmação da grande capacidade da fachada verde em interceptar a radiação. Medições de temperatura e umidade ambiente confirmam a criação de um microclima no espaço intermediário.	Pérez <i>et al.</i> , 2011 Dimoudi, Nikolopoulou, 2003
Alemanha	Temperado marítimo	✓							Redução de temperatura na fachada verde em uma gama de 2 a 6°C, em comparação com a parede nua.	Bartfelder, Köhler, 1987
Países Baixos	Atlântico temperado, úmido e ventoso	✓			✓		✓	Espaço intermediário entre a estrutura e fachada	Sistemas de arborização verticais são protectores solares naturais eficazes, devido a uma redução de temperatura da superfície vegetada em relação às fachadas nuas.	Perini <i>et al.</i> , 2011 & 2013
Salónica Grécia	Mediterrâneo temperado	✓		✓					Com foco nas variações de temperatura e características térmicas dinâmicas de superfícies para diferentes paredes, foi encontrado a importante contribuição da parede coberta de plantas na melhoria do comportamento térmico da envolvente.	Eumorfopoulou, Kontoleon, 2010 & 2009
Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos	Árido Subtropical	✓		✓			✓	Comparativo entre duas salas idênticas, uma recoberta por vegetação e outra nua, em direção Leste, 1m de distância da parede	É mostrado que durante o dia no pico de verão, a fachada verde pode manter uma média de temperatura 5 °C mais baixa que uma parede nua, impactando a carga de refrigeração e melhorando o desempenho energético do edifício.	Haggag <i>et al.</i> , 2014 Chen, 2013
Nagoya, Japão	Quente temperado		✓	✓	✓		✓	4 dias, 11h e 22h	O sombreamento e potencial de arrefecimento de um parque de estacionamento verde apresentaram uma redução da temperatura de 2 a 4°C devido a cobertura de áreas com árvores.	Onishi <i>et al.</i> , 2010

Local	Clima	Objeto de Estudo		Período		Coleta de Dados		Campanha	Resultados	Referências
		Fachada Verde	Telhado Verde	Primav. Verão	Outono Inverno	Simulação	In situ			
Madrid, Espanha	Mediterrâneo continental		✓	✓	✓	✓	✓	3 dias, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h	As temperaturas encontradas em zonas impermeáveis e de coloração escuras são mais altas quando comparadas a zonas com parques e espaços verdes	Tumini, 2012
Singapura	Tropical	✓		✓		✓		Simulações TAS, utilizando o modelo STEVE. Considerações cálculo: segunda a sexta-feira 09h às 18h em 5 pontos, à 0,2 m	Verificou-se que 100% de sistemas verticais recobertos por vegetação são eficazes na diminuição da temperatura radiante média de um edifício. Os resultados mostram uma correlação linear entre o coeficiente de sombreamento e índice de área foliar. Sendo eficaz na mitigação do efeito UHI.	Wong <i>et al.</i> , 2009
Hong Kong China	Subtropical úmido		✓			✓		Simulação Ecotect (Bidimensional, modelo em microescala dinâmico)	São demonstrados benefícios substanciais com uma diminuição de temperatura de até 8,4°C em sistemas verticais vegetados em um canyon urbano.	Alexandri, Jones, 2008
Nova York EUA	Temperado continental úmido		✓	✓	✓	✓		Comportamento diurno/ noturno sazonal.	Foi encontrado uma média 2°C de diferença de temperatura entre as áreas com vegetação.	Susca <i>et al.</i> , 2011
Chicago EUA	Continental úmido		✓	✓		✓		Previsão Model (ARW) acoplado ao modelo de dossel urbana	A aplicação generalizada de telhados vegetativos, através do aumento da evapotranspiração e albedo, reduz as temperaturas no ambiente urbano em até 3°C.	Smith, Roebber, 2011
Atenas Grécia	Mediterrâneo temperado		✓			✓		Modelagem NCAR Mesoscale Mode	Diferentes benefícios de telhados verdes com foco na mitigação da ilha de calor urbano. Verificou-se que em larga escala o aumento no albedo poderia baixar a temperatura do ar ambiente por 2°C	Santamouris <i>et al.</i> , 2008
Taiwan	Subtropical		✓		✓		✓	Comparativo entre um gramado plantado e uma laje exposta. Período entre 10h-22h	São confirmados os benefícios gerados no ambiente circundante ao ar livre e a diminuição de energia interna na presença de um gramado na cobertura	Liang, Huang, 2011

Local	Clima	Objeto de Estudo			Período		Coleta de Dados		Campanha	Resultados	Referências
		Fachada Verde	Telhado Verde	Vegetação	Primav. Verão	Outono Inverno	Simulação	In situ			
Tel Aviv Israel	Mediterrâneo			X	X			X	2 dias, 6h, 9h, 15h, 18h, 24h (raio de 20m) Comparativo entre telhado preto, um telhado branco ou verde	Os resultados indicam que, se um telhado preto é substituído por um branco ou um telhado recoberto por vegetação, a redução correspondente a fluxo sensível na um ordem de 50%  Em áreas de clima mediterrânico, com altas temperaturas de verão, a vegetação pode ter um benefício significativo para o meio ambiente. E materiais com alto albedo podem aliviar a carga térmica dos edifícios.	Shashua-Bar, Hoffman, 2004  Scherba <i>et al.</i> , 2011
Portland EUA	Temperado		X						Simulação ENVI-met 2dias, 10h, 14h e 18h		Salata <i>et al.</i> , 2015 Santamouris, 2013
Roma Itália	Mediterrâneo			✓	✓	✓	✓	✓	DesignBuilder (consumo de energia) EnergyPlus (aquecimento e refrigeração) 6 dias inteiros, 00h-00h	Demonstra-se que a vegetação pode reduzir consideravelmente a transferência de calor negativo, nos meses de verão e inverno. Sendo recomendável para melhorar o desempenho global de energia em edifícios verdes.	Feng, Hewage, 2014
Canadá	Temperado		✓		✓	✓	✓				

Relativamente aos estudos mais relevantes para esta dissertação, apresenta-se de seguida uma descrição mais pormenorizada dos mesmos. Em estudo recente (Pérez *et al.*, 2011) realizado na Espanha, com o intuito de esclarecer os diversos mecanismos que influenciam no uso de fachadas verdes e seu comportamento como sistema passivo de poupança de energia, os investigadores realizaram uma classificação dos sistemas verticais verdes para os edifícios. Assim, foram diferenciadas as fachadas verdes tradicionais das fachadas vivas, com o objectivo de facilitar a identificação e diferenciação entre os sistemas verticais verdes e realizar comparações de resultados. A consideração de sistemas verticais verdes como sistemas passivos de poupança de energia, implica quatro mecanismos fundamentais: i) interceptação de radiação solar, devido à sombra produzida pela vegetação; ii) isolamento térmico fornecido pela vegetação e pelo substrato; iii) resfriamento evaporativo, que ocorre pela evapotranspiração das plantas e do substrato e iv) variação do efeito do vento sobre o edifício pelo efeito de bloqueio do mesmo.

A metodologia utilizada para avaliar os diferentes parâmetros foi através de monitoramento e recolha de dados semanais, no período de abril de 2009 a setembro de 2009. O edifício estava localizado em condições climáticas extremas na região de Lleda (parte continental da região da Catalunha, Espanha), clima classificado como mediterrâneo continental e seco, caracterizado por grandes variações sazonais. Os resultados para as estações da primavera e do verão, apontam para a confirmação da grande capacidade da fachada verde em interceptar a radiação e as medições de temperatura e umidade ambiente confirmam a criação de um microclima no espaço intermédio, caracterizado por uma temperatura mais baixa e mais elevada de umidade, fato esse que verifica a actuação da fachada verde como barreira de vento e o efeito de evapotranspiração de plantas. Observa-se ainda a necessidade em se adequar estes sistemas passivos de eficiência energética para cada edifício, diferentes tipos de sistemas verticais verdes e condições climáticas locais (Pérez *et al.*, 2011).

Em Singapura, um projeto executado pelo Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE) em colaboração com a Universidade Nacional de Singapura (NUS), que envolveu a pesquisa e estudo de 8 diferentes sistemas de fachadas verdes, onde o objectivo foi avaliar o desempenho térmico dos vários sistemas em relação ao desempenho dos edifícios e do ambiente imediato, baseando-se na superfície e temperaturas ambientes. Os oito sistemas seleccionados abrangem uma ampla gama de fachadas e sistemas que são provenientes de diferentes partes do mundo,



que vão desde fachadas verdes simples até complexas interfaces verticais, inclinadas ou horizontais (Wong *et al.*, 2010). Os sistemas de fachadas verdes testados e monitorados são apresentados na Figura 6.



Figura 6. Sistemas diferentes de fachadas verdes (Wong *et al.*, 2010)

Para realizar o monitoramento à temperatura ambiente, 16 conjuntos de Hobo H8 temperatura Pro com uma precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  foram utilizados. Estes foram colocados em frente à fachada de controlo, onde os registradores de dados estavam distribuídos em intervalos de 0,15 m, 0,30 m, 0,60 m e 1,00 m de distância do substrato superfície, respectivamente de acordo com a Figura 7.

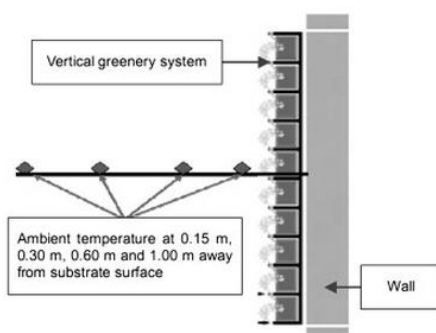


Figura 7. Posição dos registradores para medição de temperatura/umidade relativa (Wong *et al.*, 2010)

Foi observado que, as reduções na temperatura ambiente podem atingir até  $3.33^{\circ}\text{C}$ , a uma distância de 0,15 m. Dessa forma, a utilização de sistemas de fachadas verdes para arrefecer a temperatura ambiente na construção é um tanto quanto promissora. Além disso, uma

temperatura ambiente mais fria representa que as entradas de ar de condicionamento estão a uma temperatura inferior, traduzindo-se em poupança de energia na carga de arrefecimento. As temperaturas de medição em relação as diferentes distâncias de medição são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo das temperaturas ambiente medidas (Wong *et al.*, 2010)

VGS	Temperatura (° C)					
	0,15 m de distância		0,30 m de distância		0,60 m de distância	
	O mais baixo	Maior	O mais baixo	Maior	O mais baixo	Maior
Parede de Controle	26.34	34.85	25.17	33.59	25.17	33.59
1	24.79	31.93	26.34	34,01	25.17	32.34
2	25.56	32,76	25.56	32,76	25.56	32,76
4	25.17	31.52	25.17	31.93	25,95	32,76

Para além dos resultados promissores, onde os autores destacam os benefícios dos sistemas de fachadas verdes no ambiente e a sua significativa redução de temperatura, muitos outros factores se apresentam impactantes ao desempenho dos sistemas analisados tais como a estrutura física, materiais e dimensões dos painéis que prendem o teor de espécies de plantas e de substrato, tipo de substrato, a composição, de profundidade e de umidade.

Foram realizados diversos estudos e discussões, na Alemanha, para avaliar e identificar os potenciais benefícios de arrefecimento de fachadas verdes. Tal estudo foi aplicado em uma fachada recoberta por plantas e uma fachada nua com ausência de vegetação. Os resultados mostram uma redução de temperatura na fachada verde em uma gama de 2°C a 6°C, em comparação com a fachada nua (Perini *et al.*, 2011).

O uso de fachadas verdes tem impacto relevante sobre o desempenho térmico dos edifícios e não somente, sobre a redução de temperatura do ambiente urbano, bem como, em temperaturas características de verão e no inverno. A vegetação utilizada acaba por funcionar como uma espécie de filtro solar e evita a adsorção da radiação de calor solar aos materiais de construção.

Na Holanda, foi realizado um estudo (Ottelé, *et al.*, 2011) a fim de quantificar a redução da velocidade do vento, que pode ser causada por uma possível camada de ar estagnado, devido as propriedades de isolamento características das fachadas verdes. O estudo abrangeu três edifícios situados em Delft, Rotterdam e Benthuisen (Países Baixos), que se encontram a uma

distância inferior a 20Km e que apresentam três sistemas comuns de fachadas verdes Figura 8. Foi efectuada uma análise experimental para medir a temperatura (tanto do ar quanto da superfície), tendo em vista quantificar o efeito sobre a temperatura dos sistemas de arborização verticais e sobre o nível de fluxo do ar dos edifícios. As medições de temperatura do ar, superfície e velocidade do vento foram feitas de setembro à outubro 2010 (12 horas-15 horas).

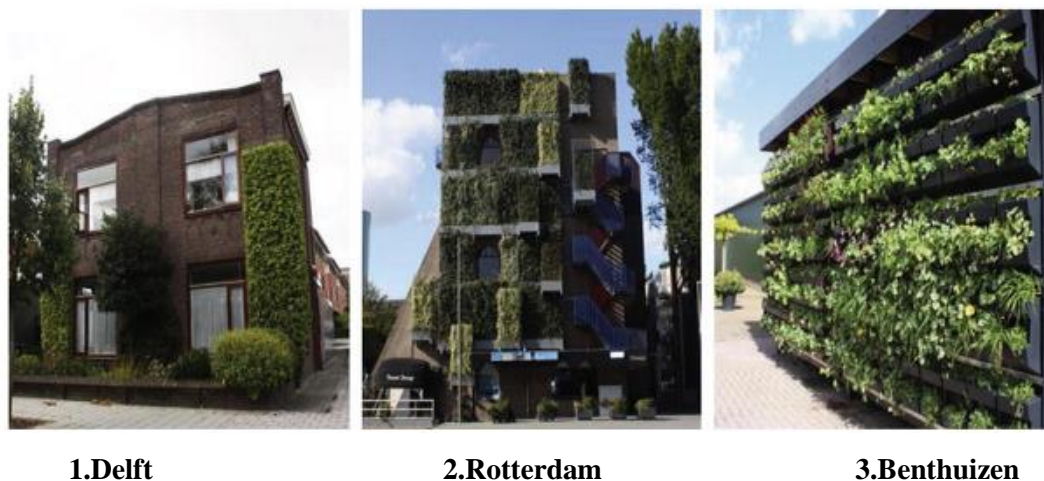


Figura 8. Fachadas verdes analisadas Países Baixos, província de Zuid-Holland (Ottelé *et al.*, 2011)

Os resultados encontrados mostram que os sistemas de arborização verticais investigados são protectores solares naturais eficazes, devido a uma redução das temperaturas da superfície da camada de verde em relação às fachadas nuas. Dentro da folhagem dos sistemas analisados directos e indirectos, e de ar no interior da cavidade houve um decréscimo da velocidade do vento (respectivamente 0,08 m/s e 0,1 m/s). O sistema de arborização directo e o sistema de fachada em caixas de plantas são as barreiras de vento mais eficazes, dado que o efeito da redução da velocidade do vento atinge a resistência térmica da envolvente do edifício e assim a melhora a eficiência do mesmo.

Outro factor benéfico exercido na utilização de fachadas verdes são os efeitos da evapotranspiração e sombreamento sobre o nível de umidade e temperatura que influenciam tanto o microclima edifício, quanto as temperaturas do interior e exterior.

Na cidade de Nagoya, no Japão, onde as temperaturas do ar durante o verão se aproximam dos 40°C, foi efectuada um estudo para avaliar a magnitude do arrefecimento resultante do plantio de vegetação na área urbana. Foi observado que o impacto da evapotranspiração e do



sombreamento de plantas pode reduzir significativamente a quantidade de calor que será retransmitida por fachadas e outras superfícies. O sombreamento e potencial de arrefecimento de um parque de estacionamento verde apresentaram uma redução da temperatura de 2°C a 4°C devido a cobertura de áreas com árvores (Onishi *et al.*, 2010).

Deste modo, a vegetação protege os edifícios do calor excessivo no verão, absorvendo grandes quantidades de radiação, mas depende sempre do tipo de técnica aplicada e do tipo de vegetação escolhida, *“uma área vertical completamente coberta por vegetação, fica protegida da radiação solar intensa no verão, podendo ser absorvido cerca de 40% a 80% da radiação solar recebida, dependendo da quantidade e tipo de vegetação”* (Wong *et al.*, 2010, pág.664).

## **2.6. Síntese**

O segundo capítulo enfatiza o estado da arte, e apresenta os principais conceitos relacionados à temática da investigação. Aborda inicialmente os conceitos de sustentabilidade urbana e de construções sustentáveis. É ressaltada a necessidade que o desenvolvimento, para ser considerado sustentável, deva abranger os âmbitos económico, social e ambiental, através da busca de um equilíbrio entre o desenvolvimento económico, a equidade social e a proteção ambiental.

Em seguida, apresenta-se as problemáticas ambientais associadas ao meio ambiente urbano e destaca-se a necessidade da busca de soluções mais sustentáveis relacionadas ao desempenho térmico, visando a melhoria das áreas urbanas de forma que seu desenvolvimento contemple o conforto dos usuários e aconteça de modo mais sustentável.

A partir daí, enfatiza-se o fenómeno das ilhas de calor, efeito climático de aumento de temperatura nos centros urbanos ocasionado, entre outros fatores, pelas mudanças no tipo de ocupação do solo, pelo aumento da impermeabilização dos solos, e pelo adensamento populacional. Os efeitos do fenómeno das ilhas de calor são descritos em diversas escalas urbanas. A um nível de microescalas, destaca-se as variações climáticas que são produzidas em pequenas distâncias, devido à interação da atmosfera com diversificados elementos urbanos.

Apresenta-se a seguir, a conceitualização e classificação das fachadas verdes aplicadas em ambientes urbanos, destacando o papel destas como uma potencial ferramenta para melhorar o microclima urbano e quando utilizadas de forma adequada.

Descreve-se algumas das políticas internacionais de incentivo à implementação de fachadas e coberturas verdes. Apresenta-se alguns casos de aplicação de tais fachadas e coberturas em diversos países ao longo das últimas décadas. Ressalta-se a ausência de normas vigentes sobre a instalação, implementação e manutenção de fachadas verdes, observando que a sua aplicação é feita atualmente em diferentes formas e em diversificadas tipologias para edificações.

O capítulo é finalizado com a apresentação de uma tabela síntese na qual são resumidas as informações de estudos de caso voltados para a aplicação de fachadas e telhados verdes, bem como espaços com vegetação que foram objeto de medições *in situ* ou através de simulação, e cujos resultados encontram-se publicados na literatura internacional dos últimos vinte anos. Os parâmetros analisados mais relevantes em relação à presente investigação, assim como os métodos empregues e os principais resultados obtidos em tais estudos apontam para resultados que incidem em valores entre 2°C a 6° C de redução da temperatura no microclima devido à existência da fachada, parede, telhado ou superfície verde. Os valores quantificados da redução são apresentados em mais de 80% dos estudos.

### 3. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A metodologia seguida na investigação teve como horizonte alcançar os objetivos propostos. Como refere Prodanov & Freitas (2013, pág. 24) *“partindo da concepção de que método é um procedimento ou caminho para alcançar determinado fim e que a finalidade da ciência é a busca do conhecimento, podemos dizer que o método científico é um conjunto de procedimentos adotados com o propósito de atingir o conhecimento”*.

#### 3.1. Método de investigação

A revisão bibliográfica constitui a primeira etapa da investigação, onde a partir da recolha de referências bibliográficas e documentais, são destacados os principais conceitos para a compreensão e análise do tema proposto. Utilizou-se como critério das principais fontes de dados e informações baseadas principalmente em artigos recentes, em sua maioria publicados nos últimos 10 anos, com reconhecimento pela comunidade científica. A contribuição na aplicação de fachadas verdes e sua capacidade em melhorar a qualidade do ambiente urbano no que se refere às condições climáticas é abordada por diversos autores, destaca-se: desde a década de 90 são adotados como critérios para o desenvolvimento urbano sustentável a valorização e preservação ambiental das áreas naturais no perímetro urbano, onde zonas verdes permitem áreas ambientalmente equilibradas com biodiversidade e condições climáticas confortáveis (Higuera, 2009). Entre as condicionantes que afetam o conforto térmico urbano estão descritas as variáveis climáticas de temperatura e umidade do ar, que são parâmetros climáticos de enfoque da pesquisa (Bosselmann *et al.*, 1995). O potencial das fachadas verdes em melhorar o microclima urbano foi descrito como forma adequada de aumentar o conforto e desempenho urbano sustentável, quando utilizadas de forma adequada na reposição de espaços verdes nas urbanizações (Perini *et al.*, 2011).

A segunda etapa da investigação seguiu uma abordagem quantitativa, ao considerarmos o problema formulado para o estudo. A estratégia de investigação adotada o estudo de caso, uma vez que o questionamento à investigar se direcionou a estabelecer qual a influência de uma fachada verde na variação do comportamento térmico em um microclima urbano, submetido às condições externas localizado na cidade de Madrid, em Espanha.

Para estabelecer tal relação, foi necessário quantificar, através da medição *in situ* de dados físico-ambientais, variáveis climatológicas que influenciam e estão diretamente relacionadas com o comportamento da temperatura no ambiente urbano. Desse modo, a unidade de análise da investigação foi uma fachada verde recoberta por vegetação, e como unidade de observação complementar uma fachada “convencional” sem vegetação, inserida no mesmo microclima em Madrid, Espanha. A origem dos dados, portanto, foi primária e a natureza de dados aplicada.

Baseando-se para tanto no método experimental em escala de microclima, que consiste em observar o objeto de estudo à influência de variáveis conhecidas pelo investigador, a pesquisa delimitou seu estudo apenas ao comportamento térmico urbano na presença de uma fachada verde, não sendo avaliado, portanto, o desempenho térmico ou conforto térmico urbano.

O problema apresentado para esta investigação apresenta natureza fixa, visto que, no método experimental adotado os resultados buscaram a confirmação da hipótese, de que na presença de fachadas verdes ocorre uma redução da temperatura do ar no ambiente urbano imediato. Os resultados quantitativos tendem a gerar uma interpretação explicativa, onde de acordo com Gil (2010) as pesquisas explicativas têm como objetivo identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Os resultados e conclusões obtidos nesta pesquisa são consequentes das condições climáticas encontradas no microclima analisado na cidade de Madrid, em Espanha, não sendo necessariamente replicáveis em outras localidades.

### **3.2. Método experimental**

Posteriormente aos estudos descritos na literatura pertinente e visando atender ao objetivo proposto ao aumentar o conhecimento na compreensão da amplitude de redução de temperatura dos indicadores climáticos urbanos associados a temperatura, umidade e velocidade do vento, foi selecionado um estudo de caso localizado na cidade de Madrid, Espanha.

Os dados de caracterização climática do contexto em que se inseria o estudo de caso foram obtidos por fontes secundárias, nomeadamente AEMET – Agência Estatal de Meteorologia do Governo de Espanha, onde foram extraídos dados de valores climatológicos normais de

Madrid-Retiro, no período de 1981 à 2010. Para obtenção de dados anuais de direcção predominante dos ventos fez-se uso das informações fornecidas por Windfinder, desde 2002 à presente data.

Inicialmente planejou-se como estudo de caso o Eco-Boulevard localizado em Vallecas. O critério de seleção ocorreu pelo fato de que seria possível mensurar, quantificar e comparar dados ambientais referentes às condições climáticas encontradas em uma área pedonal de 550mx50m, em três silos com cobertura de vegetação expectável. Dada a inviabilidade de prosseguir com as medições em campo devido à ausência de vegetação em qualquer um dos silos, outro estudo de caso foi selecionado.

O jardim vertical localizado junto ao Museu Caixa Fórum foi escolhido segundo o critério da possibilidade em se mensurar as variáveis climáticas que interferem diretamente o comportamento térmico urbano na presença de vegetação e ser possível realizar tais medições em diferentes distâncias. O planejamento das medições *in situ* passou pela análise dos locais e de suas envolventes. Houve ainda a incorporação das medições meteorológicas, de modo a incidir as datas com médias das temperaturas em dias mais quentes e mais frios, e sem possibilidades de precipitação do período em que decorreu o monitoramento.

### *3.2.1. Método de coleta de dados*

A problemática das condicionantes associadas ao desempenho térmico em zonas urbanas pode ser tratada a partir de diferentes enfoques, tais como em escala macro ou micro, conforto térmico do usuário, morfologia e estrutura urbana, densidade populacional e de edificações, topografia, refletância dos diferentes materiais de revestimento, entre outros fatores geradores de calor (Tumini, 2012).

A metodologia de medições adotada teve em consideração o objetivo inicial em coletar dados *in situ* de variáveis climáticas que influenciam o comportamento térmico no ambiente urbano em microescala, baseando-se na comparação entre valores de temperatura, umidade e velocidade do vento obtidos em uma fachada com presença de vegetação, e uma fachada “convencional” de um edifício referencialmente inserido no mesmo microclima. Realizada em duas campanhas, a primeira na estação do verão e a segunda na estação do outono.

Para proceder a coleta de dados das variáveis climáticas no ambiente urbano, não foi possível adotar um método padrão ou normalização aplicável onde a presente investigação experimental pudesse se respaldar. Por esse motivo, as medições *in situ* foram efectuadas após análise de artigos científicos cujos resultados decorrem de medições em campo. Foram ainda analisadas teses cujo carácter experimental na coleta de dados de variáveis físico-ambientais encontram problemas (Castro, 2012; Tumini, 2012).

Como exemplo de trabalhos relacionados à essa área de estudo e embasamento para orientação da metodologia de medições adotada, pode-se citar: os estudos que analisam com sucesso o desempenho térmico dos espaços urbanos na presença de vegetação e sua correlação com um ponto de referência, sem presença de vegetação (Perini *et al.*, 2011, Kontoleon, Eumorfopoulou, 2010). Na maioria dos estudos, as medições em campo foram realizadas em média durante 3 dias e preferencialmente em dias claros, e com medições pontuais a cada 3h ou 4h (Onishi *et al.*, 2010, Wong *et al.*, 2010).

Embora alguns artigos apenas apresentem uma única campanha de medições com objetivo de analisar o comportamento térmico urbano no período do verão, quando são observadas temperaturas médias mais elevadas (Pérez *et al.*, 2011, Haggag *et al.*, 2014), vários outros, para efeito de análise comparativa de comportamentos térmicos desiguais, utilizam um segundo período de medições que geralmente ocorre no período do outono (Perini *et al.*, 2011, Feng, Hewag, 2014).

Em Singapura, um estudo de temperatura registrou dados de umidade relativa utilizando sensores colocados em intervalos de 0,15 m, 0,30 m, 0,60 e 1,00 m. Foi também configurada uma estação meteorológica Hobo, nas proximidades, para recolher os parâmetros meteorológicos que incluem o ar ambiente, temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade e direção do vento e precipitação (Wong *et al.*, 2010). Um trabalho de investigação realizado em Israel, cidade de Tel Aviv, aplicou medições *in situ* da temperatura, nos horários das 6h00, 9h00, 15h00, 18h00 e 24h00 com equipamentos instalados a uma altura de aproximadamente 1,80 m (Tumini *apud* Shashua-Bar, Tsiros & Hoffman, 2012).

### 3.2.2. Equipamentos

As medições de temperatura foram efetuadas com o uso do termômetro digital Fluke 52II com dois canais e T-tipo termopares conectados a ele. O equipamento apresenta faixa de medição  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+120^{\circ}\text{C}$  com sondas incluído precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e com resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Para registros de medições de velocidade do vento, foi utilizado um anemômetro digital da marca Testo, modelo 350XL-testo454, com sonda de fio quente, faixa de 0,1 a 20 m/s, resolução de 0,1 m/s, limite de 0,1 m/s e precisão  $\pm 0,2$  m/s. Para os registros de umidade relativa, o equipamento utilizado foi o medidor digital da marca Lazer, modelo GP3181B, faixa de 10-90% RH, resolução de 1% RH e precisão  $\pm 5\%$  RH.

Foram adotados alguns cuidados quanto ao uso e manuseio dos equipamentos durante a coleta de dados, a fim de não comprometer a aferição dos registros. Os dados registrados nos equipamentos portáteis foram anotados manualmente (houve suporte de ajuda, quando possível, de uma aluna de doutoramento) e foi utilizado um tempo de estabilização dos equipamentos para coleta dos dados medidos de 30 s. As medições de temperatura e umidade foram realizadas a uma altura de 1,5 metros e a medição de velocidade do vento a 1,7 metros de altura, objetivando o registro das medições dos dados na altura dos usuários urbanos, protegidos da insolação direta.

### 3.2.3. Validação de dados

Para validar os dados coletados em campo, foi utilizado como referência uma fonte secundária de valores registrados de temperatura e umidade relativa do ar em tempo real, no exato momento em que procedeu-se as coletas de dados em campo. Trata-se dos valores da estação meteorológica Alameda, mais próxima da localização do estudo de caso, estando a aproximadamente 70 metros do objeto de estudo. Tais valores são utilizados para validar a fiabilidade dos dados coletados *in situ* e balizar a análise comparativa dos dados, uma vez que foi observada uma variação média de aquecimento de  $0,2^{\circ}\text{C}$ , em intervalos aproximados de 15 minutos (tempo médio entre a 1ª e 4ª medição, de cada fachada). Procedeu-se desse modo por triangulação, um processo de comparação entre os dados oriundos de diferentes fontes com intuito de obter informações mais precisas.

#### 3.2.4. Método de análise de dados

Para analisar os dados coletados *in situ* das variáveis climáticas de temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos prosseguiu-se com a análise comparativa, em função de tais variáveis. Primeiramente, as campanhas de medição são apresentadas separadamente devido às diferenças entre as estações do ano, tendo ocorrido a primeira campanha no período da primavera e a segunda no outono. São apresentados os dados primários coletados *in situ* das variáveis climáticas em três diferentes períodos do dia: matutino, diurno e vespertino, onde foi descrito quais foram as diferenças de valores de temperatura encontradas nas diferentes distâncias de medição. Os três dias selecionados foram analisados em cada uma das campanhas, de modo a possibilitar a avaliação do comportamento dos elementos fundamentais do clima.

De modo a possibilitar a comparação entre a temperatura medida em cada um dos pontos da fachada verde e o seu análogo na fachada convencional, as temperaturas foram equalizadas com as temperaturas medidas na estação meteorológica, de tal forma que as temperaturas medidas fossem transportadas a um mesmo referencial. De forma que, o intervalo de tempo e consequente variação térmica no ambiente, incorrem em gradientes térmicos que influenciem na comparação entre os pontos medidos, ou seja, as temperaturas não são regredidas a um horário exato, mas sim ao período em que as medições foram realizadas. Para tanto, e a fim de esclarecer quais as condições meteorológicas encontradas em campo, apresentou-se os perfis de comportamento térmico em ambas as campanhas.

Para uma análise subsequente minuciosa da variação entre as temperaturas cronológicas (deltas), procedeu-se a uma descrição prévia das condições meteorológicas observadas nos dias de medição. Embora não haja uma relação direta entre os dados descritos e as variações de temperatura e umidade, estas podem prover indícios de possíveis discrepâncias nos dados que foram analisados, e mostrar tendências de comportamentos térmicos.

Em seguida, efetuou-se uma análise descritiva, ressaltando as diferentes de temperaturas encontradas em pontos análogos. Como percurso para análise comparativa realizada por triangulação, foram apresentados os deltas de diferentes temperaturas em pontos análogos. Para tratamento e apresentação visual dos dados utilizou-se o software Matlab2014®.



### 3.3. Casos de estudo

#### 3.3.1. Caracterização climática do contexto: Madrid

A localização geográfica da Comunidade Autónoma de Madrid (Latitude 40°26' N - Longitude 3°41' W) situada na zona central da Península Ibérica (altura média acima do nível do mar é de 667 m) apresenta uma variedade contrastante de condições climatológicas definidas como clima mediterrâneo continental. Observa-se que, as temperaturas médias anuais variam de 2°C a 14°C (Figura 9), as temperaturas absolutas ao longo do ano podem atingir mínima de 8°C e temperatura máxima 44°C.

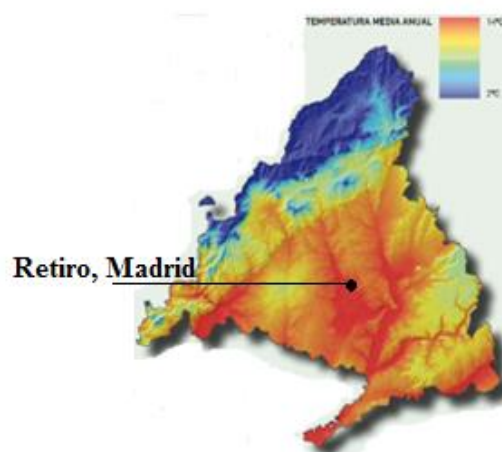


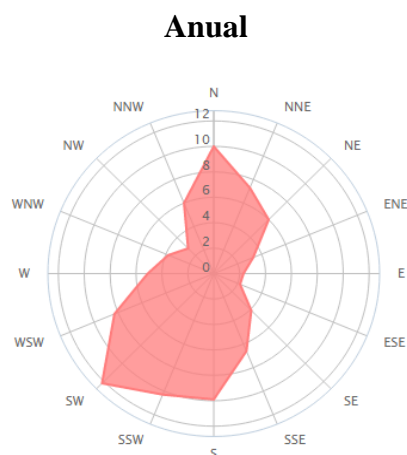
Figura 9. Mapa de temperatura média anual em Madrid (Consejería del Medio Ambiente y Ordenación del Terriorio Comunidad de la Madrid, 2014)

Outra característica das condições climáticas em Madrid é uma elevada amplitude térmica diária. No período do inverno, está é de aproximadamente 7°C, e no período do verão é em média de 12°C (Tabela 4), segundo dados de duas décadas (1981-2010) obtidos na estação Madrid-Retiro. As temperaturas médias mensais são mínimas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e máximas nos meses de julho e agosto. Nos meses adotados das campanhas de medições para o desenvolvimento deste trabalho, são observadas temperaturas médias de 20,9°C em setembro e 9,9°C em novembro.

Tabela 4. Média dos valores climatológicos normais (1981-2010), em Retiro, Madrid (Agência Estatal de Metereologia de Madrid, 2015)

Mês	Temperatura Média °C	Média Temperatura diária máxima °C	Média Temperatura diária mínima °C	Precipitação Média mm	Umidade relativa Média %	Número Médio horas de sol
Janeiro	6,3	9,8	2,7	33	71	149
Fevereiro	7,9	12	3,7	34	65	158
Março	11,2	16,3	6,2	25	55	211
Abril	12,9	18,2	7,7	45	56	230
Maio	16,7	22,2	11,3	50	53	268
Junho	22,2	28,2	16,1	21	44	315
Julho	25,6	32,1	19	12	38	355
Agosto	25,1	31,3	18,8	10	41	332
Setembro	20,9	26,4	15,4	22	50	259
Outubro	15,1	19,4	10,7	60	64	/
Novembro	9,9	13,5	6,3	58	71	144
Dezembro	6,9	10	3,6	51	74	124
Ano	15	19,9	10,1	42,1	57	/

Demonstra-se na Figura 10 que frequência anual demonstrada de direção predominante dos ventos encontrada no centro de Madrid é Sudoeste (SW), comportamento que se observa nos dados anuais e referente aos meses de setembro e novembro, segundo dados estatísticos baseados em medições coletadas na estação metereológica de Madrid-Barajas, entre agosto de 2002 e setembro de 2015 (diariamente entre 7 horas e 19 horas).



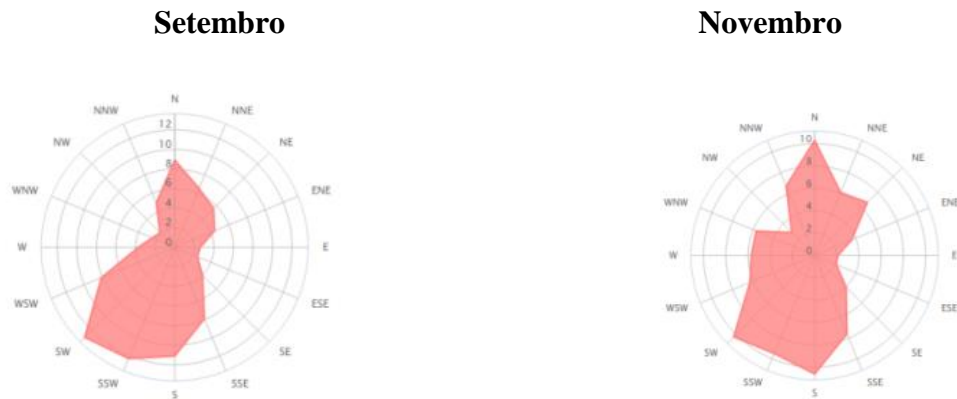


Figura 10. Distribuição anual, dos meses de setembro e novembro de direção predominante dos ventos (%) em Madrid, Barajas de 2002 a 2015 (Windfinder, 2015)

Segundo dados estatísticos baseados nas medições coletadas na estação meteorológica de Madrid-Retiro, entre 02/2011 e 10/2012 (diariamente entre 7 horas e 19 horas), a frequência predominante de direção dos ventos que se observa nos meses de setembro e novembro é Nordeste (NE), (Figura 11). É ainda observado nas figuras apresentadas, uma maior variação da direção dos ventos no mês de novembro.

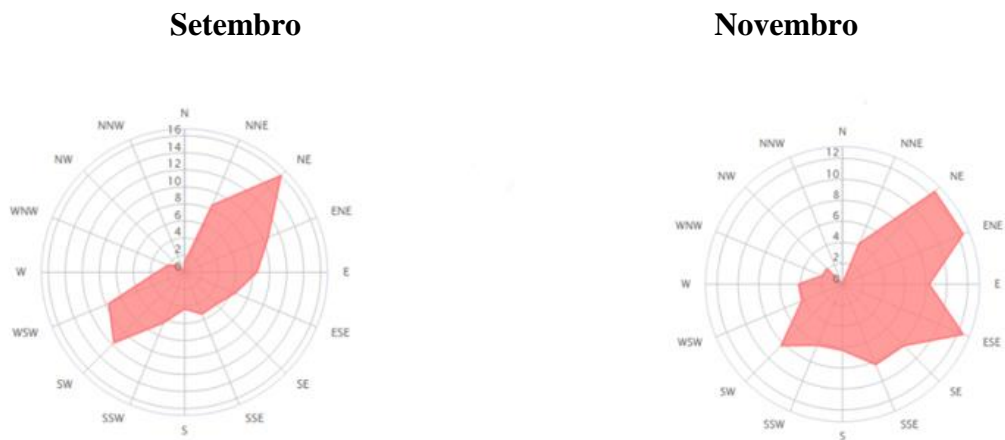


Figura 11. Direção predominantes dos ventos nos meses de setembro e novembro (%) em Madrid, Retiro de 2011 a 2012 (Windfinder, 2015)

De acordo com a caracterização climática observada na cidade de Madrid, especificamente do bairro Retiro, onde se localiza geograficamente o estudo de caso como destacado na Figura 12, se justifica a escolha dos períodos de medições de variáveis climáticas em 2 períodos: primeira etapa de coleta de dados no verão ocorrida em setembro de 2015 nos dias 23, 24 e 25, onde são observadas as maiores amplitudes térmicas, e segunda etapa de colecta de dados

no outono, ocorrida em novembro de 2015 nos dias 16, 17 e 19, onde são observadas as amplitudes térmicas mais baixas.

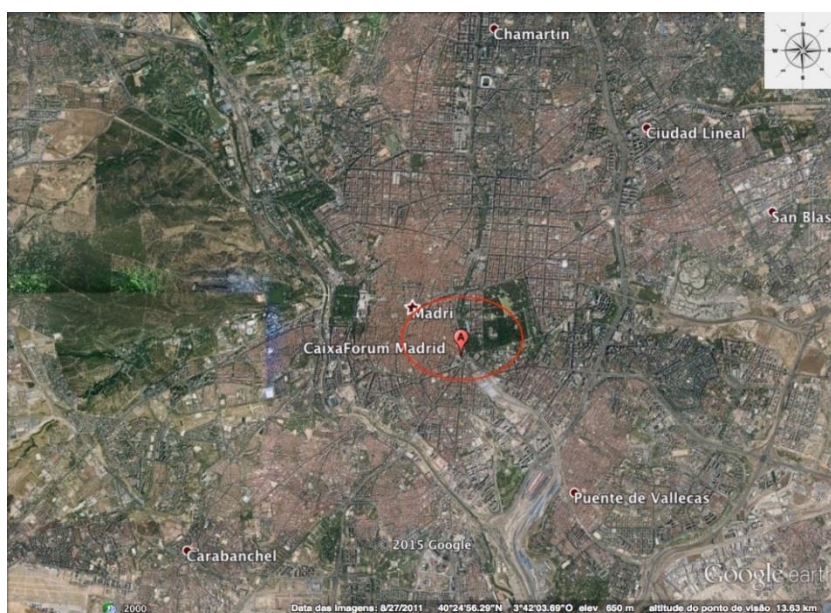


Figura 12. Localização espacial do estudo de caso em Retiro, Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015)

### 3.3.2. Estudo de caso 1

O primeiro objeto de estudo selecionado foi o Eco-Boulevard em Vallecas, podendo ser descrito como um espaço público que visa ativação social, e que dá prioridade ao ambiente térmico urbano, com a instalação de três “Árvores de Ar”, cuja estrutura em silos são recobertas por vegetação. Foi construído com o objetivo de criar condições bioclimáticas de conforto aos usuários desde o início de sua ocupação urbana, conforme Figura 13.



Figura 13. Eco-Boulevard e área urbana adjacente em Vallecas, Madrid (Arana, Franchini, 2014)

A instalação consiste em um sistema multifuncional composto por silos denominados por “Árvores de Ar”. O ecossistema urbano foi construído com materiais majoritariamente reciclados, sendo composto por três estruturas metálicas cilíndricas de 17 metros de altura e 20 metros de diâmetro nas fachadas laterais, a 4,5m de altura do solo, como pode ser visto na Figura 14. As “árvores de ar” são recobertas por vegetação, tanto em seu interior quanto exterior, onde a vegetação apresenta diferentes propriedades e densidades, tendo como objeto assegurar espaços de sombreamento na superfície urbana.

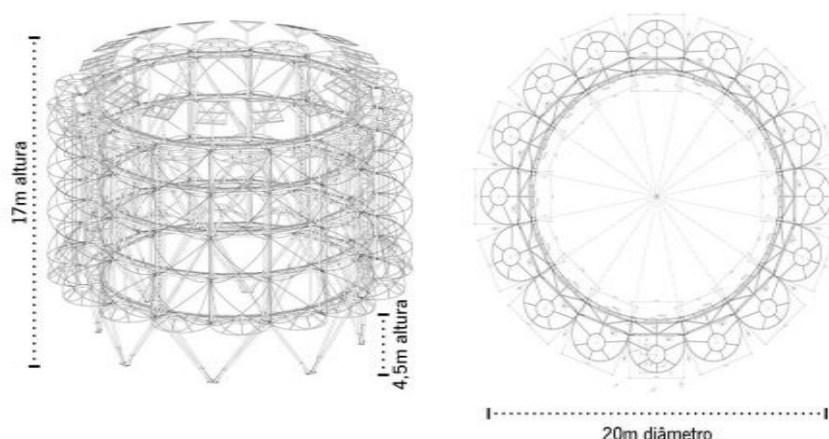


Figura 14. Ecossistema urbano composto por “Árvores de Ar” com estrutura metálica cilíndrica (Tato, Vallejo, García-Setién, 2005)

Este primeiro estudo de caso, inicialmente previsto e planejado, permitiria condições únicas devido à distância e similaridade do microclima urbano, de quantificar *in situ* as condicionantes térmicas que influenciam as variações diárias de temperatura, umidade e velocidade dos ventos, e ainda compará-las com os resultados obtidos relacionando os parâmetros de densidade, tipo e estado da vegetação, forma e espessura das diferentes fachadas das três “Árvores de Ar” a analisar no Eco-Boulevard.

No entanto, este estudo de caso não pode ser concretizado, havendo um insucesso. Dada a impossibilidade no seguimento das medições e coleta de dados das variáveis climáticas de temperatura, umidade e velocidade do vento no Eco-Boulevard em Vallecas. Devido ao fato de não existir presença de vegetação nas estações de primavera/verão, quando seriam coletados os dados para a primeira etapa de medições. Na Figura 15, é possível verificar imagens do registro fotográfico realizado em 22 de setembro de 2015 quando ocorreu a visita *in situ* ao confirmar-se que no local do primeiro estudo de caso proposto. Em breve



esclarecimento junto a uma moradora local, no início do verão, em junho, havia presença de vegetação nas fachadas das “Árvores de Ar” do Eco-boulevard. No entanto, devido às altas temperaturas ao longo da estação, somadas à baixa umidade, a vegetação se extinguiu totalmente.

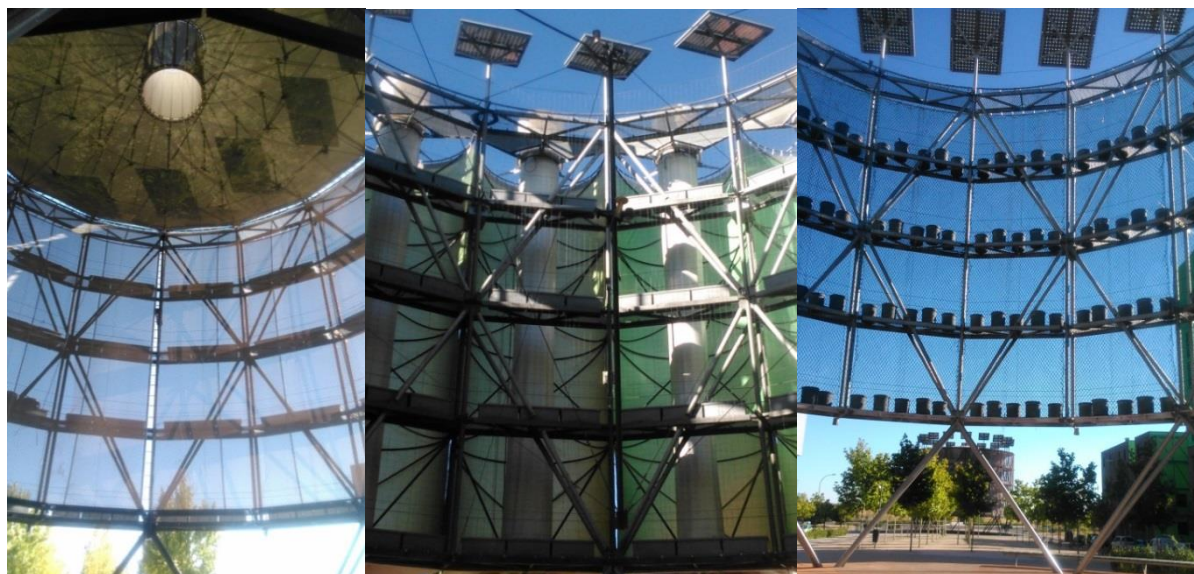


Figura 15. Ecossistema urbano “Árvore de Ar” Climática, Lúdica e Mediática acusando ausência de vegetação (Registro fotográfico próprio, 2015)

### *3.3.3. Estudo de caso 2*

O segundo estudo de caso selecionado foi no Museu Caixa Fórum, localizado no bairro Retiro, em Madrid (Figura 16). Nesse microclima urbano, localiza-se um jardim vertical desenvolvido em 2007, pelo paisagista francês Patrick de Blanc. Ao longo do trabalho intitulada Fachada 1, que possui uma altura de 24 metros e comprimento 19 metros (Figura 17). E uma outra fachada “convencional” sem vegetação (Figura 18), que devido a proximidade pode-se considerar como submetida às mesmas condições ambientais (ao longo do trabalho intitulada Fachada 2).



Figura 16. Localização espacial do estudo de caso jardim vertical situado no Museu Caixa Fórum em Retiro, Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015)



Figura 17. Jardim vertical localizado junto ao Museu Caixa Fórum, Fachada 1 (Registro fotográfico próprio, 2015)

O jardim vertical localizado junto ao Museu Caixa Fórum destaca-se por ser uma das fachadas verdes mais altas do continente Europeu. Ocupa uma área de  $460 \text{ m}^2$  composta por 250 tipos de espécies de plantas do mediterrâneo, contando com aproximadamente 15 000 plantas. O sistema que comporta tal fachada verde é em manta, e foi patenteado em 1988. A estrutura da parede é composta essencialmente por três camadas de materiais diferentes que comportam as plantas e as raízes: uma estrutura metálica de aço galvanizado, aço inoxidável e alumínio, uma lâmina plástica de cerca de 1 cm; e por último uma manta dupla de feltro especial “não deteriorável” com alta capilaridade que permite distribuição de água homogênea, com tubos enraizados que permitem o gotejamento de água necessária para

alimentar a vegetação. O peso máximo do sistema, incluindo as plantas e estrutura, pode atingir 35 kg/m<sup>2</sup>, considerando 30 unidades de plantas por metro quadrado (Blanc, 2012). A segunda fachada selecionada está inserida no mesmo microclima urbano, sendo uma fachada “convencional” sem vegetação (Figura 18). O posicionamento das fachadas (Figura 19), sendo Fachada 1 orientada à Sudeste e a Fachada 2 orientada à Nor-Nordeste.

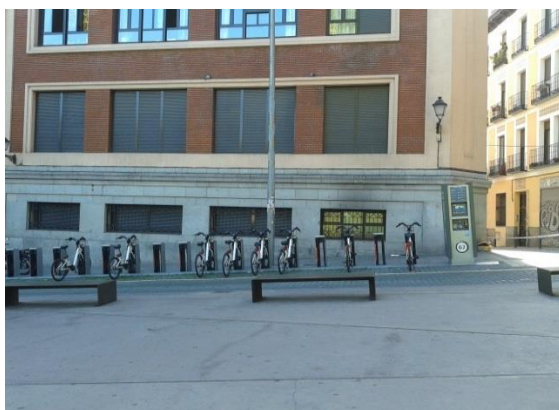


Figura 18. Fachada “convencional” sem vegetação, Fachada 2 (Registro fotográfico próprio, 2015)



Figura 19. Posicionamento das Fachadas 1 e 2 “in situ”

### 3.3.4. Delimitação da pesquisa

As referências bibliográficas utilizadas no estado da arte nortearam a metodologia para tomada de dados e medições *in situ*. Para seleção da fachada de referência foram verificadas nas imediações o edifício que estivesse a uma distância inferior à 50 metros do objeto de estudo, por se tratar de estudo experimental em escala de microclima.

Procurou-se que, a fachada de referência (Fachada 2) estivesse na mesma orientação solar da fachada verde (Fachada 1). Na impossibilidade de encontrar fachadas quer acessíveis a medições, quer passíveis de quantificação (devido ao fato das ruas e passeios não possuírem largura suficiente), que permitissem a coleta de dados. E ainda, pelas condições de ensobreamento criadas nas ruas, pela existência de núcleos arbóreos no exterior (que não permitiram acesso à fachada), por fachadas não homogêneas com partes em consola (como as do edifício Museu Caixa Fórum). Tais condições de campo implicaram que o raio de incidência na procura da fachada de referência fosse alargado até os 100 metros. Foi realizado trabalho de busca em mapas digitais e em campo, na procura de uma fachada que se encontrasse nas mesmas condições de orientação solar, porém não foi possível.



Logo, decidiu-se utilizar a única fachada possível inserida no mesmo microclima (espaço aberto do Museu Caixa Fórum), sendo contemplada a posterior conversão radiação solar na Fachada 2 (sem vegetação) com a incidência de exposição solar equivalente à Fachada 1 (com vegetação). A metodologia aplicada por Shashua & Hoffman (2004) analisa com sucesso o comportamento térmico dos espaços urbanos na presença de vegetação e sua correlação com um ponto de referência, sem presença de vegetação por meio de uma coleta de dados determinados à uma distância entre 50 a 100 metros do ambiente urbano em análise (Chatzidimitriou, Yannas, 2004).

Duas estações metereológicas foram seleccionadas nas imediações do estudo de caso, a fim de obter valores registrados reais de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos durante as duas etapas e respectivos períodos de medições. Os valores das variáveis climáticas registrados pelas estações metereológicas seleccionadas foram utilizados posteriormente para validar os dados coletados. A estação Chamberi está localizada a aproximadamente 2,9 Km de distância do objeto de estudo. Sendo possível buscar nessa estação, dados referentes a velocidade e direção predominante dos ventos, que não puderam ser colectados na estação Alameda. Na estação Alameda (localizada a 70 metros de distância do objeto de estudo) foram coletados dados referentes a temperatura do ar e umidade. A Figura 20 apresenta geograficamente a localização das estações Chamberi e Alameda em relação ao estudo de caso.

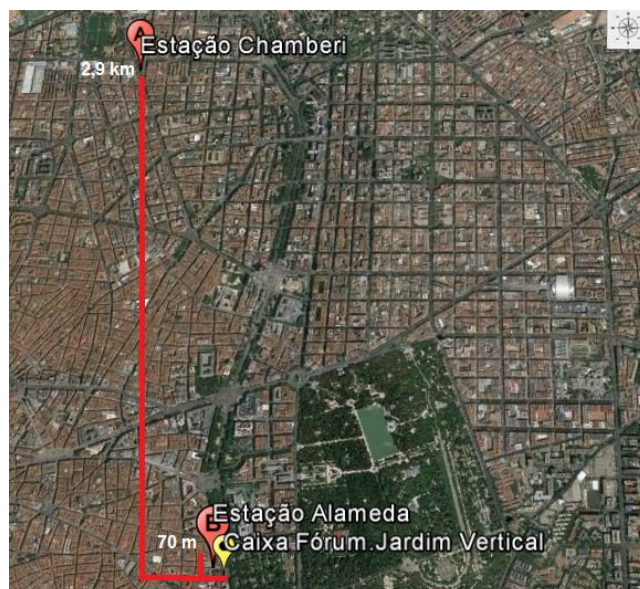


Figura 20. Localização espacial das estações metereológicas Chamberi (A) e Alameda (B) em Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015)

### 3.3.5. Monitoramento e coleta de dados

A investigação experimental em sua primeira etapa de medições objetivou analisar o comportamento térmico urbano no período da primavera/verão, quando são observadas temperaturas médias mais elevadas. O monitoramento dos dados foi realizado durante três dias: 23, 24 e 25 de setembro de 2015. Para a sistematização das medições *in situ* dos parâmetros climáticos de temperatura, umidade e velocidade do vento, optou-se em executar as medições em três períodos do dia que apresentam amplitudes térmicas diferentes e abrangem desde as temperaturas mais baixas do dia até os picos de temperaturas mais altas, sendo: período matutino entre 10h-11h, período diurno aproximadamente entre 13h-14h e período vespertino aproximadamente entre 15h-18h. Em segunda etapa de medições o monitoramento dos dados foi realizado nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015 e as medições devido ao período outonal foram realizadas em média 1 hora mais cedo do que na primeira campanha, sendo: período matutino entre 9h-10h, período diurno aproximadamente entre 12h-13h e período vespertino entre 14h-16h. Foram selecionados para as medições 8 pontos distintos, sendo 4 para cada uma das Fachadas 1 e 2, estando eles a 0,5 m (Ponto 1), 1,5 m (Ponto 2), 3 m (Ponto 3) e 5 m (Ponto 4) da respectiva fachada (Figura 21).



Figura 21. Distâncias das medições realizadas nas fachadas 1 e 2 (Elaboração própria, imagem obtida google earth, 2015)

Na Figura 22 estão especificados os pontos de coleta das medições nas fachadas selecionadas. A descrição detalhada das condicionantes encontradas *in situ* registra: *Fachada 1*) ponto 1: centro do jardim vertical; ponto 2: próximo a uma fonte com fluxo de água; ponto 3: leve declive de altura em relação ao ponto 1 e ponto 4: leve declive de altura em relação ao ponto 3. *Fachada 2*) Ponto 1: centro da fachada convencional; ponto 2: próximo à paragem de bicicletas, existe poste à esquerda; ponto 3: depois da rua movimento de veículos motorizados e ponto 4: mesma altura e aproximado do ponto 4 da *Fachada 1*.

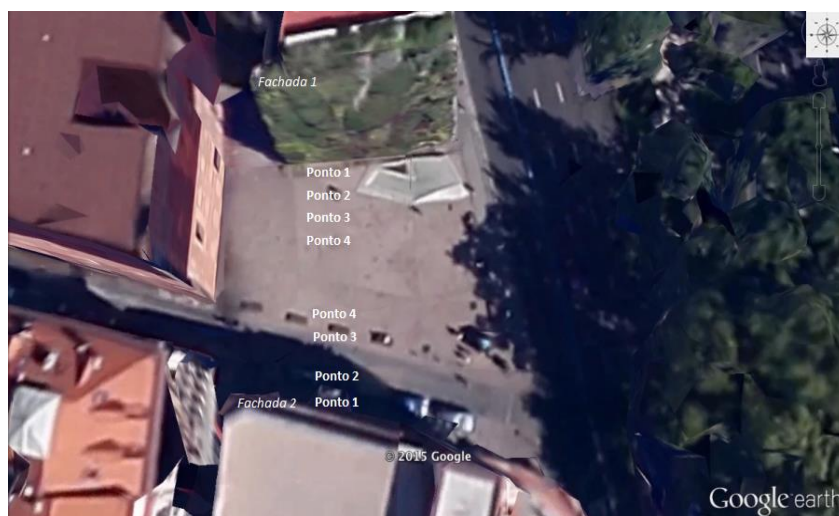


Figura 22. Pontos de colecta de dados nas fachadas 1 e 2 (Elaboração própria, imagem obtida google earth, 2015)

A segunda campanha de medições foi acrescida da variável climática da radiação solar. Tal acréscimo teve como finalidade possibilitar a otimização e análise posterior dos resultados, e foi complementada em conformidade com discussão e avaliação das deficiências encontradas em campo após a realização da primeira campanha. Justifica-se a escolha de medição da variável de radiação solar ao fato das fachadas estudadas não possuírem a mesma orientação solar. Tal condição foi identificada como uma limitação espacial da pesquisa de campo, que não deveria exceder um raio de 100 metros, por se tratar de uma investigação em escala de microclima. Neste círculo circunscrito, não foi possível encontrar paredes paralelas ao Museu Caixa Fórum (Fachada 1), com condições de diária mensuração conforme descrito no (item 3.3.4 *Delimitação da pesquisa*).

Assim sendo, a primeira etapa de medições *in situ* realizada entre os dias 23, 24 e 25 setembro e segunda etapa entre os dias 16, 17 e 19 novembro de 2015, representam a coleta de dados de 24 medições em 8 pontos. Foram compilados, ao longo de 6 dias de observação, 144 medições de parâmetros climáticos de temperatura, umidade e velocidade do ar para caracterização em microescala da área urbana em análise.

## 4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os dados coletados *in situ* referente às duas campanhas de medições realizadas, tendo sido a primeira campanha efetuada nos dias 23, 24 e 25 de setembro de 2015 e a segunda nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015.

Os dados coletados das variáveis climáticas são mostrados em tabelas, onde são indicadas a Fachada 1 (Fachada Verde), devido a presença de vegetação e a Fachada 2, sendo uma fachada “convencional” com ausência de vegetação, inseridas no mesmo microclima no centro de Madrid, em Espanha. As tabelas de apresentação dos dados estão agrupadas de acordo com três diferentes períodos do dia, em que foram realizados o monitoramento: matutino, diurno e vespertino.

Os dados de temperatura, velocidade dos ventos e umidade são discriminados no exato momento da coleta (hora) e respectivo ponto de medição nas diferentes distâncias, sendo: P1 (0,5m), P2 (1,5m), P3 (3,0m) e P4 (5,0m). Os dados coletados de temperatura são apresentados em °C, velocidade dos ventos em m/s e umidade relativa do ar em %, sendo esses coletados utilizando os equipamentos descritos no método experimental (item 3.2.2 *Equipamentos*). Os dados de direção dos ventos inseridos nas tabelas, foram obtidos a partir dos dados coletados pela estação meteorológica Chamberi. São ainda apresentados os dados coletados na estação Alameda, mais próxima do objecto de estudo, onde foi traçado um perfil de comportamento térmico e umidade nos respectivos dias de realização das duas campanhas. Somados a estes, apresenta-se uma breve descrição das condições meteorológicas apontadas em campo.

Posteriormente é analisado isoladamente o comportamento de cada ponto, no exato momento das medições de temperatura e umidade face aos dados coletados na estação meteorológica Alameda. A fim de estabelecer uma percepção mais detalhada do microclima analisado, são ainda adotados para a apresentação dos resultados o comportamento das variações térmicas entre as medições de temperatura encontradas *in situ* nas Fachadas 1 e 2, observando todos os pontos coletados nos três dias de medições, em ambas as campanhas.

Todos os dados apresentados estão balizados pelas respectivas temperaturas registradas na estação meteorológica Alameda. Na segunda campanha, realizada no período outonal, acrescentam-se as medições realizadas da variável de radiação solar, com conversão de dados e descrição das fórmulas pertinentes para realizar a conversão de temperatura e comportamento térmico aplicado à Fachada 2, ao considerar a influência de incidência solar.

#### 4.2. Primeira campanha de medições

São apresentados os dados coletados *in situ* entre os dias 23 e 25 de setembro de 2015, dos respectivos pontos e horários medidos no período matutino entre 10h-11h, período diurno entre 13h-14h e no período vespertino aproximadamente entre 16-18h, das condições climáticas de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos.

Na Tabela 5 estão descritas as condições meteorológicas resumidas de temperatura e umidade encontradas *in situ*, nos três períodos de medição para as Fachadas 1 e 2. As condições climatológicas estão subdivididas e classificadas sucintamente entre: incidência direta de sol (Céu Limpo), incidência indireta de sol (Radiação filtrada pela copa das árvores), incidência indireta de sol (Céu parcialmente nublado) e sem incidência de sol (Sombra).

Tabela 5. Resumo das condições meteorológicas encontradas *in situ* na primeira campanha

Temperatura e Umidade	Período	Localização	Condições Meteorológicas			
			Incidência Direta de Sol ( Céu Limpo)	Incidência Indireta de Sol (Radiação filtrada pela copa das árvores)	Incidência Indireta de Sol (Céu parcialmente nublado)	Sem Incidência de Sol (sombra)
23.setembro	+ Frio e Úmido	Matutino Fachada 1			✓	
		1ª Medição Fachada 2				✓
		Diurno Fachada 1			✓	
		2ª Medição Fachada 2				✓
		Vespertino Fachada 1				✓
		3ª Medição Fachada 2				✓
24.setembro	Intermédio	Matutino Fachada 1		✓		
		1ª Medição Fachada 2				✓
		Diurno Fachada 1	✓			
		2ª Medição Fachada 2				✓
		Vespertino Fachada 1	✓			
		3ª Medição Fachada 2				✓
25.setembro	+ Quente e Seco	Matutino Fachada 1	✓			
		1ª Medição Fachada 2				✓
		Diurno Fachada 1	✓			
		2ª Medição Fachada 2				✓
		Vespertino Fachada 1	✓			
		3ª Medição Fachada 2				✓

Observa-se na Tabela 6, o comportamento térmico no microclima urbano medido no período matutino aproximadamente entre 10h-11h, onde se apresentam as menores temperaturas em relação aos períodos diurno e vespertino, e ainda apontam para as menores diferenças de variação térmica atingidas entre os pontos 1 e 4.

Com exceção das medições realizadas no dia 23 de setembro nota-se ainda que, algumas medições das variáveis climáticas mostram-se inversas em alguns casos ao comportamento térmico esperado das medições realizadas na Fachada 1, onde existe uma regressão de temperatura entre os pontos 1 e 4, sendo o ponto 1 o mais próximo da Fachada 1, que apresenta maior temperatura em relação aos pontos subsequentes.

Referente aos dados de direção predominante dos ventos nota-se que, no período matutino foram predominantes as direções Leste, Nordeste e Nor-Nordeste, e a umidade do ar mínima registrada de 31% e máxima de 42%.

Tabela 6. Valores climatológicos medidos *in situ*, em primeira campanha no período matutino Fachada 1 e Fachada 2

		FACHADA 1							FACHADA 2					
Ponto	Hora	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora	
23.setembro	P1	10h18	18,9	20,3	1,1	37	E	18,7		20,1	0,45	36	10h40	
	P2	10h23	20,5	20,8	1,1	36	NNE	19,1		18,6	0,9	36	10h45	
	P3	10h28	20,2	20,8	1,64	36	NE	20,5		18,9	1,67	37	10h50	
	P4	10h33	21,2	19,8	1,32	36	NE	20,1		19,6	0,93	38	10h55	
24.setembro	P1	9h57	21,2	20,7	22,7	0,36	41	E	19,3	19,7	19,5	1,11	41	10h15
	P2	10h00	19,4	19,2	20,3	0,53	42	E	18,2	18,9	19,9	0,1	42	10h19
	P3	10h05	19,6	19,1	19,2	0,63	42	ENE	21,2	21,3	22,8	0,65	41	10h24
	P4	10h12	20,6	20,1	20,9	0,33	41	E	22,6	21,4	22,9	0,93	39	10h28
25.setembro	P1	9h57	22,6	22,3	24,7	0,53	31	NNE	20,8	20,4	22,2	0,94	29	10h16
	P2	9h59	21,9	20,8	23,6	0,06	33	NNE	21,4	20,6	23,7	0,15	28	10h21
	P3	10h04	21,8	20,2	23,5	0,08	31	NE	22,7	22,6	24,9	0,4	28	10h25
	P4	10h09	21,8	20,3	22,7	0,53	31	NNE	21,5	22,5	25,5	0,53	26	10h30

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro



Observa-se na Tabela 7 que o comportamento térmico no microclima urbano medido no período diurno entre 13h-14h, onde se apresentam temperaturas intermediárias em relação aos períodos matutino e vespertino, também apontam para variações térmicas maiores entre os pontos 1 e 4, atingindo no dia 25 setembro uma redução de 2,7°C. A umidade relativa sofreu uma queda em relação ao período matutino e teve oscilações entre 21% e 39%. E a direção predominante dos ventos no período diurno foi Nor-Nordeste.

Tabela 7. Valores climatológicos medidos *in situ*, em primeira campanha no período diurno Fachada 1 e Fachada 2

Ponto	Hora	FACHADA 1						FACHADA 2					Hora
		T1 °C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1 °C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	
23.setembro	P1 13h00	23,5		23,5	0,55	36	NNE	23,5		22,5	1,23	33	13h10
	P2 13h02	23,3		22,6	2,55	35	NNE	23,5		22,5	0,5	31	13h12
	P3 13h05	23,6		22,6	0,53	35	NNE	22,1		21,6	0,67	32	13h17
	P4 13h08	25,1		23,8	1,16	34	E	22,5		22,1	1,13	33	13h23
24.setembro	P1 12h47	24,2	23,8	24,2	0,05	39	WSW	23,2	22,3	24,1	0,36	36	13h01
	P2 12h50	25,3	24,3	24,2	0,43	38	WSW	22,3	21,1	23,5	0,44	35	13h05
	P3 12h54	23,9	23,1	24,4	0,42	37	ENE	22,8	21,9	22,4	0,77	35	13h09
	P4 12h58	22,5	22,1	24,5	0,94	37	ENE	23,1	22,1	22,8	0,95	35	13h14
25.setembro	P1 12h45	27,1	27,3	26,7	0,52	25	ESE	26,9	26,2	27,7	0,67	21	13h02
	P2 12h49	29,3	30,2	28,5	0,58	28	NNE	27,4	27,7	28,1	0,13	26	13h07
	P3 12h56	28,7	27,7	29,5	0,17	23	NE	27,2	27,5	27,5	0,78	25	13h11
	P4 12h57	29,8	29,3	29,2	1,23	21	NNE	28,1	28,2	30,4	0,42	24	13h15

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

Os mais expectáveis comportamentos térmicos de redução de temperatura atingidos ocorrem na coleta de dados realizada no período vespertino medido aproximadamente entre 15h-18h, onde apresentam uma redução térmica de 2,7°C no período vespertino do dia 24 de setembro e o comportamento mantém-se no mesmo período do dia 25 de setembro, de acordo com a Tabela 8.

Nota-se ainda que a direção dos ventos foi mais dispersiva relativamente aos períodos matutino e diurno, com direcções Leste, Norte, Oeste e Nordeste. A umidade relativa apresentou seu menor gradiente variando entre 20% e 34%, sendo assim caracterizado como o período mais seco do dia.



Tabela 8. Valores climatológicos medidos *in situ*, em primeira campanha no período vespertino  
Fachada 1 e Fachada 2

		FACHADA 1							FACHADA 2					
Ponto	Hora	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora	
23.setembro	P1	17h17	24,2	23,9	27,1	1,3	31	NNE	24,2	24,8	24,4	0,74	32	17h33
	P2	17h20	24,7	24,7	24,6	0,67	32	NE	24,9	24,5	24,2	0,72	32	17h36
	P3	17h24	25,2	25,5	25,1	0,43	33	NE	24,9	24,6	24,1	0,64	31	17h39
	P4	17h27	25,2	25,2	24,8	1,14	31	N	24,1	23,7	23,8	0,46	30	17h43
24.setembro	P1	15h54	27,5	27,1	27,1	0,52	34	N	26,6	25,8	28,1	0,4	30	16h11
	P2	15h59	29,2	28,2	28,9	0,56	34	ENE	26,3	25,8	27,5	0,05	30	16h15
	P3	16h03	30,2	29,3	31,1	0,1	32	E	26,7	26,3	27,2	0,93	29	16h19
	P4	16h06	28,6	27,1	29,2	1,1	31	E	28,3	26,3	28,1	0,62	28	16h22
25.setembro	P1	14h56	30,8	30,1	29,2	0,16	26	W	27,7	27,2	28,5	1,54	20	15h10
	P2	14h59	31,9	30,9	31,1	0,56	24	W	27,9	28,4	28,5	0,12	22	15h14
	P3	15h03	31,1	30,5	31,7	0,51	23	WSW	28,2	28,2	29,5	0,02	24	15h18
	P4	15h06	29,5	29,8	30,8	1,19	20	SW	28,1	28,2	30,4	0,42	24	15h22

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

#### 4.2.1. Perfil comportamento térmico da primeira campanha

As condições meteorológicas medidas pela estação Madrid-Alameda entre os dias 23 e 25 de setembro de 2015 são apresentadas como referência. Esta estação encontra-se a 70 metros de distância do objeto em estudo. Na Figura 23 é apresentado o comportamento de temperatura e umidade no local estudado, nos dias e horários de medição, sendo esses dados, analisados ao longo do trabalho. Portanto, verifica-se que à medida que existe elevação de temperatura ao longo das horas do dia, existe uma redução de umidade. No entanto, essa não pode ser considerada como inversamente proporcional, pois não existe uma relação direta e uniforme entre os perfis de temperatura e umidade nos três dias de medição. Pode-se ressaltar que no dia 23 de setembro foram observadas as menores variações de temperatura e umidade ao longo do dia, devido à condição meteorológica observada ser nublada. Além disso, no dia 25 de setembro houve as maiores temperaturas medidas e também as menores umidades, que apresentaram perfil ascendente e descendente respectivamente, alcançando ao longo do dia uma condição administrativa de atenção, pois a umidade relativa do ar estava entre 20 e 30% como se observa entre as 13 horas e 18 horas.

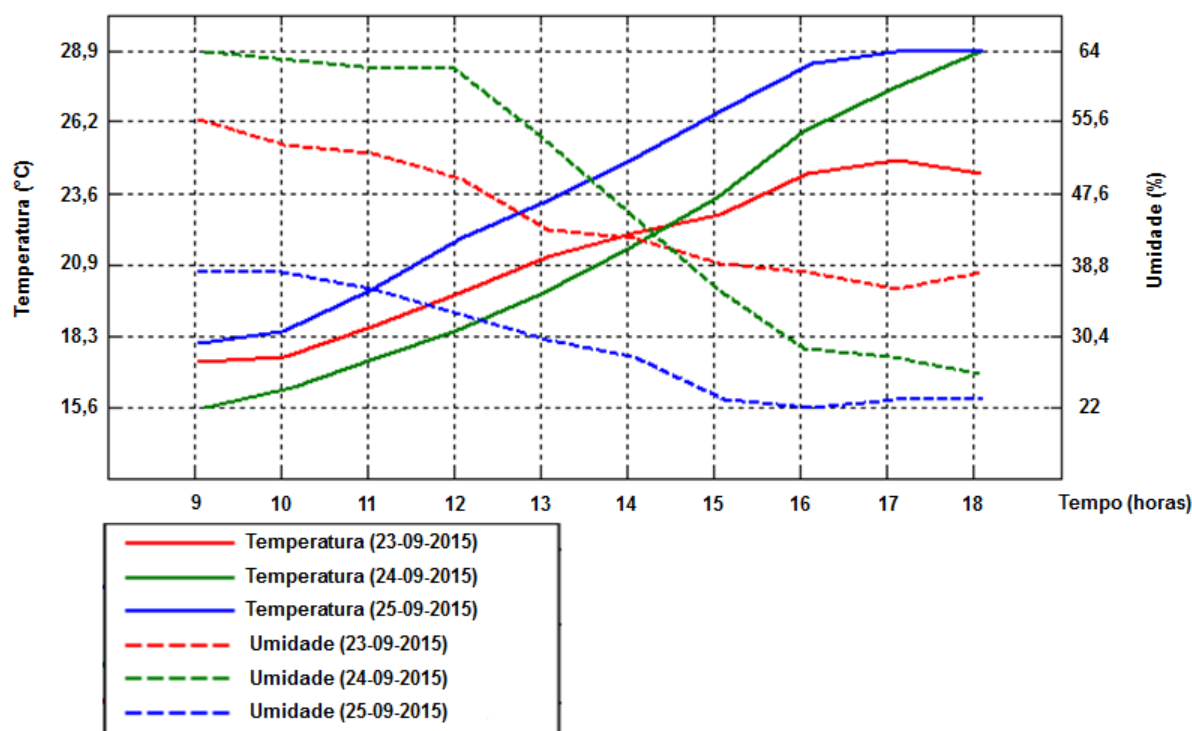


Figura 23. Condições meteorológicas medidas na estação Madrid-Alameda entre 23 e 25 de setembro de 2015 (Elaboração própria, dados obtidos em Weather Underground, 2015)

Os valores obtidos em campo e apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, e encontram-se em conformidade com os dados recolhidos pela estação Madrid-Alameda, entre os dias 23 e 25 de setembro, conforme pode ser verificado no Figura 23. Como referido, todos os dados de temperatura apresentados estão balizados pela temperatura de referência da estação. Ressalta-se que 93% dos dados de temperatura medidos se encontram num intervalo de confiança inferior a 5°C, face aos dados registrados na estação meteorológica.

Analisa-se, de seguida, o comportamento térmico encontrado especificamente nos pontos 1 e 2, da Fachada 1 em comparativo com os dados de temperatura medidos na Fachada 2, durante as três medições diárias, realizadas entre os dias 23 e 25 de setembro. Na Figura 24, são apresentados os dados de temperatura medidos *in situ* no Ponto 1, onde nota-se:

- 23 de setembro: o comportamento térmico da Fachada 1 apresenta uma diminuição de temperatura progressiva entre a 1ª medição e 3ª medição em comparação à Fachada 2, atingindo uma redução térmica no período vespertino de aproximadamente 1 °C em relação a Fachada 2;

- 24 de setembro: o comportamento térmico da Fachada 1 apresenta temperaturas superiores em comparação a Fachada 2 que são constantes entre a 1ª medição e 3ª medição;
- 25 de setembro: o comportamento térmico da Fachada 1 apresenta temperaturas superiores quando comparada à Fachada 2 atingindo uma diferença de aproximadamente 4 °C na 3ª medição.

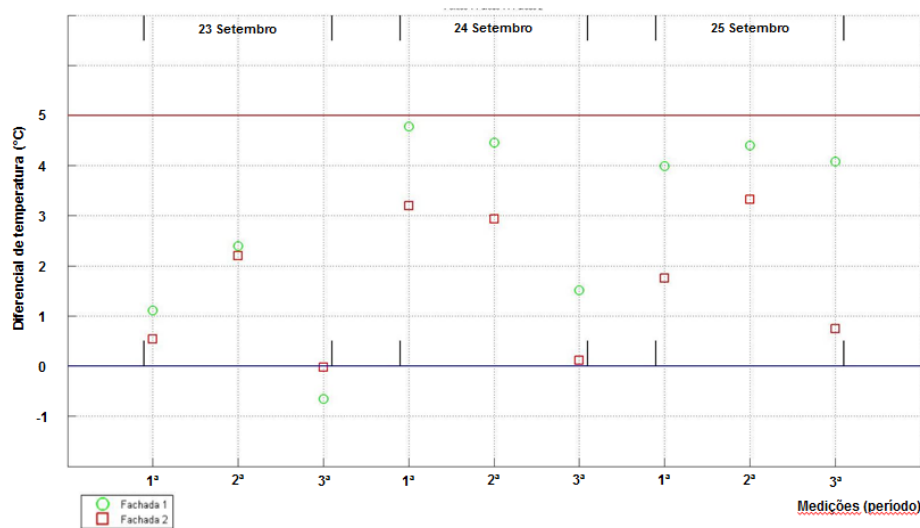


Figura 24. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 1

Na Figura 25 são apresentados os dados de temperatura medidos *in situ* no ponto 2, onde observa-se:

- 23 de setembro: nas mesmas condições climatológicas, o comportamento térmico da Fachada 1 apresenta uma diminuição de temperatura progressiva entre a 1ª medição e a 3ª medição em comparação a Fachada 2, atingindo na 3ª medição uma temperatura similar;
- 24 de setembro: o comportamento térmico da Fachada 1 apresenta um aumento progressivo de temperatura entre a 1ª medição e a 3ª medição; em comparação à Fachada 2, atingindo uma diferença aproximada de 2,5 °C na 2ª e 3ª medições;
- 25 de setembro: o comportamento térmico observado na Fachada 1 apresenta um aumento progressivo de temperatura entre a 1ª medição e a 3ª medição; em comparação com a Fachada 2, atinge uma diferença de 3,5 °C na 3ª medição.

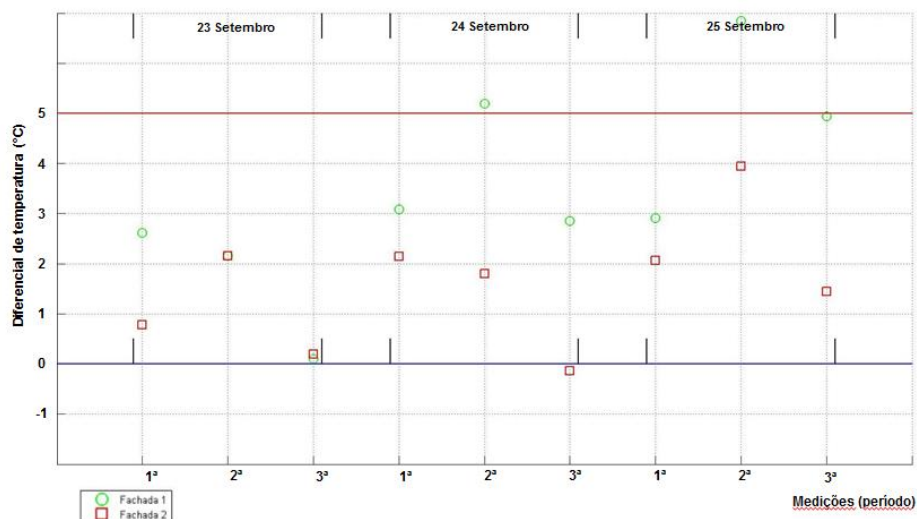


Figura 25. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 2

Na Figura 26 encontram-se os dados coletados *in situ* no ponto 3, onde nota-se que na Fachada 1, as 1ª medições dos três dias são relativamente mais baixas, e ao longo do dia nas 2ª e 3ª medições apresentam temperaturas mais altas. Foi atingido um diferencial acentuado de temperatura mais elevado na 3ª medição de aproximados 3°C na Fachada 1 em relação a Fachada 2.

Referente ao Figura 27 pode ser observado que no ponto 4 as temperaturas medidas na Fachada 1 são maioritariamente superiores às da Fachada 2, salvo nas 1ª e 2ª medições realizadas no dia 24 de setembro. No entanto, o gradiente de temperatura não ultrapassa 1,8°C entre a Fachada 1 e a Fachada 2.

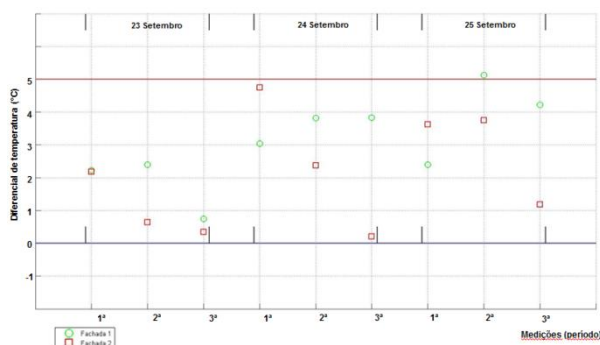


Figura 26. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 3

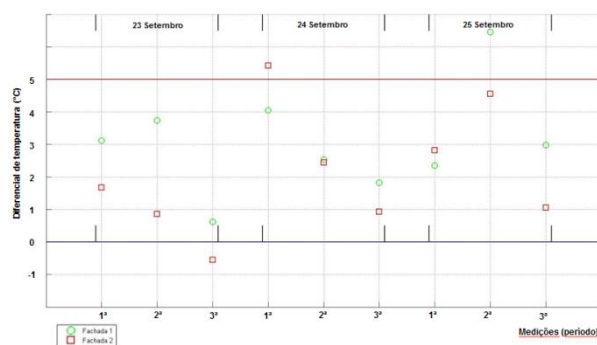


Figura 27. Diferencial de temperatura, em primeira campanha, Fachada 1 e 2, no Ponto 4

São apresentados na Figura 28 as variações de temperatura entre as medições de temperatura *in situ* da Fachada 1 e Fachada 2. Haja vista que ambas não foram realizadas no mesmo momento, ocorrendo uma variação de temperatura entre as medições (devido ao diferencial de tempo entre as coletas). Portanto, com a finalidade em comparar as medições de temperatura das fachadas, ambas foram convertidas a um referencial comum, que é a variação de temperatura entre o ponto medido e a estação Madrid-Alameda (no exato momento da medição). O comportamento térmico encontrado entre o ponto 1 e o ponto 4, da Fachada 1 em comparação com os dados correspondentes da Fachada 2, durante as três medições diárias, realizadas entre os dias 23 e 25 de setembro. As variações de temperatura entre os pontos 1 à 4 apresentam boa redução térmica no dia 23 de setembro ao longo do dia entre a 1ª e 3ª medição. As diferenças verificadas no dia 24 de setembro entre os pontos 1, em ambas as fachadas, são praticamente uniformes, ainda que a Fachada 1 se encontrasse com incidência direta de sol.

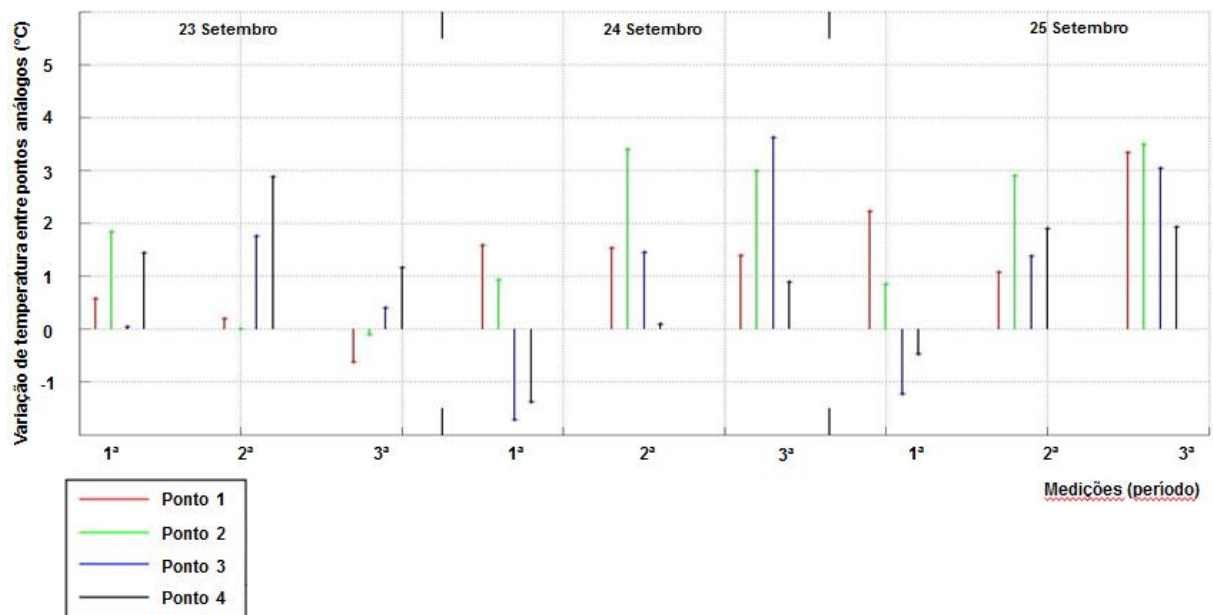


Figura 28. Variação de temperatura, em primeira campanha entre pontos análogos

### 4.3. Segunda campanha de medições

Apresentam-se os dados coletados *in situ* nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015, dos respectivos pontos e horários, onde devido a estação outonal e ajuste de horas as medições realizadas na segunda campanha. Estas medições decorreram, em média, 1 hora mais cedo do que as medições executadas na primeira campanha. Sendo no período matutino entre 9h-10h, período diurno aproximadamente entre 12h-13h e período vespertino entre 14h-16h, das condições climáticas de temperatura, umidade, velocidade e direção dos ventos. Na Tabela 9 estão descritas as condições climatológicas de temperatura e umidade encontradas *in situ*, nos três períodos de medição e nas Fachadas 1 e 2.

Tabela 9. Resumo das condições metereológicas encontradas *in situ* na segunda campanha

Temperatura e Umidade	Período	Localização	Condições Metereológicas			
			Incidência Direta de Sol ( Céu Limpo)	Incidência Indireta de Sol (Radiação filtrada pela copa das árvores)	Incidência Indireta de Sol (Céu parcialmente nublado)	Sem Incidência de Sol (sombra)
16.novembro	Intermédia	Matutino Fachada 1		✓		
		1ª Medição Fachada 2				✓
		Diurno Fachada 1		✓		
		2ª Medição Fachada 2				✓
		Vespertino Fachada 1		✓		
17.novembro	+ Frio e Úmido	3ª Medição Fachada 2				✓
		Matutino Fachada 1		✓		
		1ª Medição Fachada 2				✓
		Diurno Fachada 1		✓		
		2ª Medição Fachada 2				✓
19.novembro	+ Quente e Seco	Vespertino Fachada 1		✓		
		3ª Medição Fachada 2				✓
		Matutino Fachada 1		✓		
		1ª Medição Fachada 2				✓
		Diurno Fachada 1		✓		
		2ª Medição Fachada 2				✓
		Vespertino Fachada 1			✓	
		3ª Medição Fachada 2				✓

São apresentados na Tabela 10, os dados coletados *in situ* das medições realizadas no período matutino, que ocorreram entre 9h-10h. Observa-se que, devido as baixas temperaturas matinais entre 9,1°C e 12,5°C, não foram atingidas reduções térmicas representativas entre o ponto 1 e ponto 4. Sendo de 1,5°C a maior redução de temperatura encontrada no dia 19 de novembro. A direção predominante dos ventos para esse período matutino foi Leste. E a umidade relativa apresentou mínima de 51% e máxima de 62%.

Tabela 10. Valores climatológicos medidos *in situ*, em segunda campanha no período matutino  
Fachada 1 e Fachada 2

			FACHADA 1						FACHADA 2					
Ponto		Hora	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora
16.novembro	P1	9h11	10,5	9,6	14,1	0,34	54	E	10,7	11,1	13,6	0,35	60	9h29
	P2	9h17	10,6	10,1	13,7	0,33	55	E	9,6	10,1	13,9	0,03	59	9h31
	P3	9h21	9,9	9,6	13,2	0,71	57	NNE	10,1	10,3	13,3	0,04	56	9h34
	P4	9h25	10,2	10,8	13,4	0,03	61	NNE	10,1	10,1	12,8	0,35	62	9h36
17.novembro	P1	9h05	9,6	8,5	12,1	0,55	54	ENE	9,1	9,1	11,5	0,15	55	9h24
	P2	9h11	9,2	8,8	12,2	0,04	55	E	9,7	9,3	11,9	0,06	56	9h28
	P3	9h15	9,1	9,1	11,6	0,34	55	ENE	9,5	9,6	12,1	0,02	56	9h32
	P4	9h20	9,3	9,6	11,2	0,24	55	E	9,6	9,4	11,8	0,03	56	9h36
19.novembro	P1	9h00	11,1	10,6	15,3	0,21	51	E	11,7	10,9	15,7	0,52	55	9h16
	P2	9h04	11,5	10,5	16,4	0,09	53	E	11,5	11,3	15,8	0,31	55	9h20
	P3	9h08	11,6	11,3	16,4	0,03	54	E	12,1	12,5	15,9	0,48	55	9h24
	P4	9h12	12,5	11,5	16,8	0,04	58	E	11,4	11,9	16,6	0,04	55	9h28

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

No período diurno subsequente nota-se que a direção predominante dos ventos foi maioritariamente de Oeste, e em função da umidade relativa do ar houve uma queda leve no período matutino, ocorrendo uma oscilação entre 46% e 55%.

Tabela 11. Valores climatológicos medidos *in situ*, em segunda campanha, no período diurno  
Fachada 1 e Fachada 2

		FACHADA 1						FACHADA 2						
Ponto	Hora	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora	
16.novembro	P1	11h50	15,3	14,4	17,4	0,95	55	SE	13,1	13,4	15,1	0,62	54	11h58
	P2	11h52	15,1	15,8	16,4	0,67	55	S	13,2	13,6	15,5	0,03	54	11h59
	P3	11h54	14,4	14,8	16,5	0,04	55	S	13,5	13,7	16,1	0,04	55	12h01
	P4	11h56	14,3	14,9	16,3	0,23	54	SSE	13,4	13,6	15,1	0,86	55	12h03
17.novembro	P1	11h50	14,8	14,2	16,6	0,19	48	SSE	13,5	14	15,7	1,16	49	12h04
	P2	11h53	14,2	13,8	17,2	0,02	48	E	13,5	13,5	15,8	0,68	49	12h08
	P3	11h57	14,2	14,8	17,2	0,09	48	ESE	13,7	13,6	15,7	0,95	50	12h12
	P4	12h00	14,1	13,8	16,4	0,69	49	SE	14	13,8	16,6	0,08	51	12h16
19.novembro	P1	12h05	17,9	17,6	19,8	0,07	46	W	16,7	16,5	20,3	0,77	49	12h20
	P2	12h09	17,2	17,1	20,1	0,53	47	W	16,5	16,9	21,9	0,07	49	12h24
	P3	12h13	17,8	17,4	21,5	0,06	48	W	17,2	17,1	22,2	0,05	48	12h28
	P4	12h17	17,7	17,1	21,6	0,09	48	W	16,9	16,6	19,2	1,25	48	12h32

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

Observa-se que, o comportamento térmico encontrado no microclima urbano medido no período diurno entre 12h-13h (Tabela 11) e no período vespertino entre 14h-16h (Tabela 12),

embora apresentem temperaturas superiores ao período matutino, não representam reduções térmicas significativas entre os pontos 1 e 4.

Tabela 12. Valores climatológicos medidos *in situ*, em segunda campanha, no período vespertino Fachada 1 e Fachada 2

			FACHADA 1						FACHADA 2					
Ponto		Hora	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora
16.novembro	P1	14h02	17,7	17,9	19,3	0,03	52	SW	16,8	16,4	19,4	0,18	50	14h15
	P2	14h05	18,5	18,2	19,9	0,06	52	S	17,1	16,9	19,2	0,52	51	14h18
	P3	14h08	17,3	16,1	20,1	0,03	52	S	16,2	16,6	19,9	0,09	51	14h21
	P4	14h11	18,1	18,8	19,9	0,33	51	W	16,3	16,6	19,4	0,23	52	14h24
17.novembro	P1	14h50	16,7	16,4	18,5	0,04	49	ESE	15,8	15,7	18,1	0,93	48	15h09
	P2	14h55	16,6	16,4	18,5	0,46	49	WSW	15,9	16,1	18,7	0,03	48	15h12
	P3	15h00	16,9	16,8	18,5	0,25	48	WSW	16,6	16,7	18,3	0,45	48	15h15
	P4	15h05	16,3	16,5	18,8	0,34	48	WSW	16,1	15,9	17,6	1,16	48	15h19
19.novembro	P1	14h55	19,9	19,3	21,1	0,43	48	SE	19,1	19,3	22,3	0,09	49	15h15
	P2	15h01	19,6	19,4	21,6	0,09	51	S	19,3	19	23,1	0,15	47	15h20
	P3	15h06	19,8	19,6	21,9	0,51	47	SSW	19,3	19,5	22,3	0,55	47	15h24
	P4	15h10	20,1	20,7	21,8	0,26	47	SSE	19,5	19,2	23,1	0,06	47	15h28

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

Nota-se ainda que, a direção dos ventos foi mais dispersa nos períodos matutino e diurno, com direções predominantes de Sul e Oés-Sudeste. Os dados de umidade relativa apresentaram seu menor gradiente nos períodos matutino e diurno, com oscilação entre 47% e 52%.

#### 4.3.1. Perfil comportamento térmico segunda campanha

As condições meteorológicas medidas pela estação Madrid-Alameda nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015, são apresentadas na Figura 29. O comportamento de temperatura e umidade do ar, nos dias e horários de medição demonstram que, existe elevação de temperatura ao longo das horas. Sendo apresentado no período matutino (9 horas) uma variação térmica entre 8,3 °C e 10,3 °C, e no período vespertino (16 horas), apresentam as maiores temperaturas, estando entre 16,7 °C e 20,3 °C. A umidade do ar apresenta um comportamento similar, no período matutino de 85% que decresce ao longo do dia, com exceção do dia 17 de novembro, onde a umidade do ar aumenta, atingindo o pico de 100% entre as 12 horas e 15 horas.



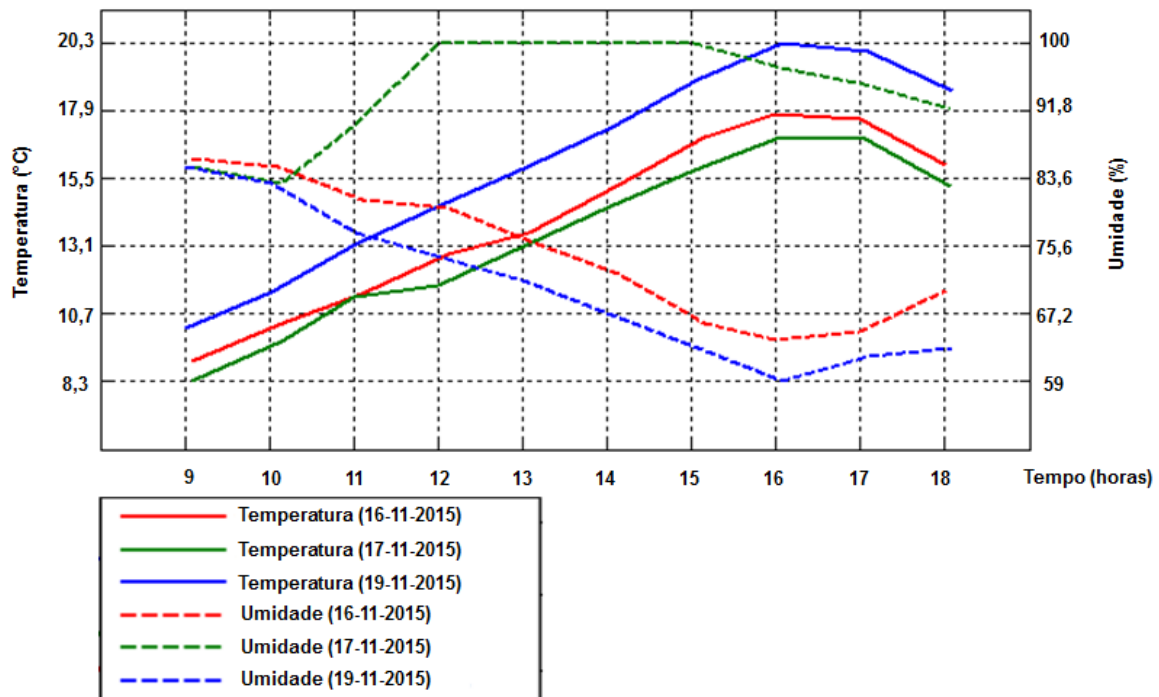


Figura 29. Condições meteorológicas medidas na estação Madrid-Alameda nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015 (Elaboração própria, dados obtidos em Weather Underground, 2015)

Os valores apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12 foram os dados brutos obtidos em campo, e encontram-se em conformidade com os dados da estação Madrid-Alameda, entre os dias 16, 17 e 19 de novembro, conforme pode ser verificado na Figura 29. Todos os dados de temperatura apresentados estão balizados pela temperatura de referência da estação Madrid-Alameda. Salienta-se que todos os dados de temperatura medidos na segunda campanha encontram-se em um intervalo de confiança entre 5 °C e máximo de 3,1 °C face aos dados registrados na estação meteorológica.

Segue análise do comportamento térmico encontrado especificamente nos pontos 1 e 2, da Fachada 1, comparados aos dados de temperatura medidos na Fachada 2. Do monitoramento realizado durante as três medições diárias, nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015.

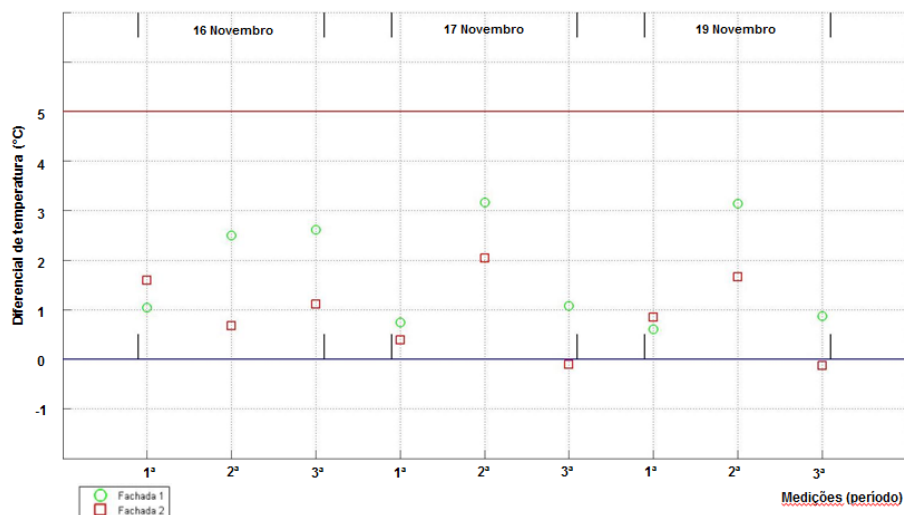


Figura 30. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 1

Nas Figuras 30 e 31, são apresentados os dados de temperatura medidos *in situ* no ponto 1 e no ponto 2, onde o comportamento térmico em ambos os pontos se demonstra similar. Sendo em sua maioria as temperaturas medidas na Fachada 1, superiores as temperaturas medidas na Fachada 2. Apontam-se no entanto, como exceções: as 1ª medições no ponto 1, nos dias 16 e 19 de novembro. Em que a temperatura da Fachada 1 apresenta 0,5 °C a menos que a Fachada 2, e ainda para o ponto 2, onde nos dias 17 e 19 de novembro, nas 1ª medições a temperatura da Fachada 1 é praticamente a mesma encontrada na Fachada 2.

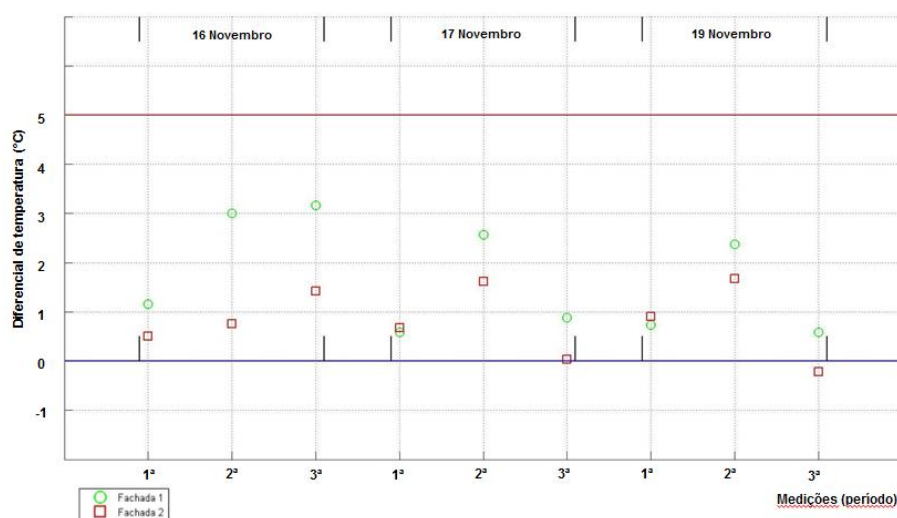


Figura 31. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 2

Nas Figuras 32 e 33, são apresentados os dados de temperatura medidos *in situ* nos pontos 3 e 4, onde na maioria das medições, a Fachada 1 apresenta temperaturas superiores à Fachada 2. No entanto, o comportamento térmico se apresenta diferente nas 1ª medições realizadas no Ponto 3, nos dias 16 e 17 novembro, em que as temperaturas são praticamente idênticas. No dia 19 de novembro, em que a temperatura medida na Fachada 1 é mais fria em 0,5°C. No ponto 4 da Fachada 1, é demonstrada todas as medições com temperaturas superiores em relação ao ponto 2, atingindo seu maior gradiente de 2°C na 3ª medição do dia 16 de novembro de 2015.

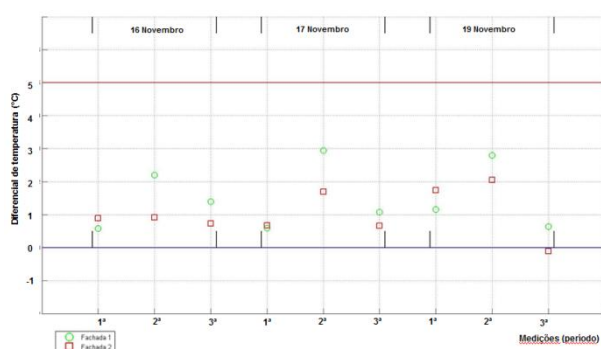


Figura 32. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, na Fachada 1 e 2, no Ponto 3

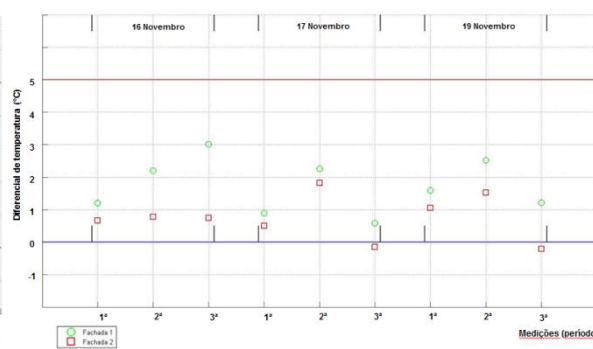


Figura 33. Diferencial de temperatura, em segunda campanha, Fachada 1 e 2, no Ponto 4

São apresentados na Figura 34 as comparações ponto a ponto das temperaturas medidas *in situ* dos pontos 1 a 4 de ambas as Fachadas, para as três medições diárias nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015. A fim de possibilitar essa comparação, ambas foram convertidas a um referencial comum que é a temperatura na estação Madrid-Alameda no exato momento da medição. As variações de temperatura entre as medições do ponto 1 ao ponto 4 apresentam um comportamento similar nas 1ª medições realizadas nos dias 16 e 19 de novembro, sendo de 1 °C, a maior variação térmica entre o ponto 1 e o ponto 4. Para a 2ª e 3ª medições, nota-se um comportamento equivalente nos dias 16 e 19 de novembro, onde a variação térmica atinge um pico de 1,2 °C.

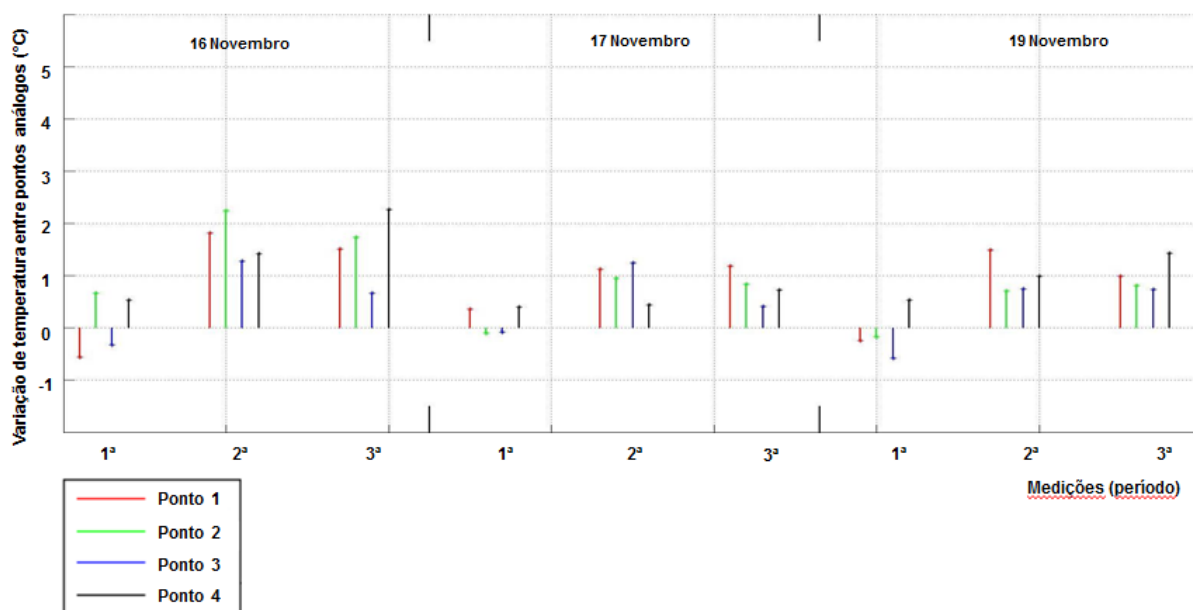


Figura 34. Variação de temperatura, na segunda campanha entre pontos análogos

#### 4.3.2. Radiação solar

Na segunda etapa de medições, o método experimental contou com a medição *in situ* da radiação solar, para além das medições dos parâmetros de variáveis climáticas de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento. Esta medição teve por objetivo complementar a análise do comportamento térmico do microclima em estudo e abranger uma maior compreensão das variáveis e suas interferências, seja no aumento ou diminuição de temperatura, seja para as diferentes fachadas e pontos analisados.

O monitoramento dos dados de radiação solar foi realizado durante a segunda campanha de medições, nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015. Para a sistematização das medições *in situ* da radiação solar, optou-se em executar as medições desse parâmetro em média 30 minutos antes e 30 minutos depois (intercalando com as medições das demais variáveis), nos três períodos (matutino, diurno e vespertino). O ponto de medição da radiação solar foi executado no Ponto 1 da Fachada 1 (Verde), ou seja, a 0,5 metros de distância.

As medições de radiação solar foram efetuadas com o uso do Piranômetro Ingenieurburo - Sensor de Irradiação Solar Si-02-K (55,8 mV/(1000 W/sqm). O equipamento apresenta faixa de -20 °C a +70 °C e resolução de:  $\pm 5\%$ . Para uso e manuseio do equipamento foram obtidos,

os mesmos cuidados quanto ao uso dos demais, os dados registrados no equipamento portátil foram anotados manualmente e o tempo de estabilização do equipamento foi de 30 s. As medições de radiação foram realizadas a uma altura de 1,5 m, com o equipamento orientado na posição vertical (em paralelo com a Fachada 1) e orientado na posição horizontal (perpendicular a Fachada 1).

Foi verificado ao longo do trabalho que as duas fachadas não se encontram expostas ao sol da mesma forma, sendo a Fachada 1 orientada à Sudeste e a Fachada 2 orientada à Nor-Nordeste. Portanto, para uma análise mais precisa do comportamento da Fachada 1, foi necessário aplicar-se um fator de ajuste à Fachada 2, a fim de minimizar o impacto das condicionantes encontradas em campo.

#### *4.3.3. Caracterização da Fachada 2*

Para a caracterização da Fachada 2, foi adotado o material componente granito, o qual apresenta densidade ( $\rho$ ) de 2800 Kg/m<sup>3</sup>, reflectância ( $\alpha$ ) de 0,29 e calor específico ( $c$ ) de 0,92 Kj/Kg°C. Para tanto, foram realizados respectivamente os cálculos da massa ( $m$ ) de fachada e da quantidade de calor ( $Q$ ) absorvida.

O fator de ajuste à Fachada 2, em relação à incidência de raios solares, considerou como ponto de referência o ponto 1 da Fachada 1. Devido à variação da incidência de radiação solar no ponto 1 ao longo do dia. Havendo influência sobre a mesma tanto dos raios solares incidentes, como os refletidos pelo pavimento horizontal. Estando essa fachada sujeita à emissão solar difusa, adotou-se a combinação das emissões horizontais e verticais incidentes sobre esse ponto.

Para definir a área de incidência solar da Fachada 2, tendo em vista a homogeneidade da mesma, foi adotada uma pequena área como representativa do todo. E ainda, a fim de garantir que a transmissividade ( $\tau$ ) seja nula, para o cálculo de um volume também representativo, adotou-se uma espessura suficiente para que a referida parede possa ser considerada como opaca.

Portanto, para o cálculo da área representativa ( $A$ ), utiliza-se a Eq. 1:

$$A = l \cdot w \quad [1]$$

Sendo:

$l$  - comprimento da seção (1,0 m); e

$w$  - altura da seção (1,0 m).

E para o cálculo do volume representativo ( $V$ ), utiliza-se a Eq. 2:

$$V = l \cdot w \cdot d \quad [2]$$

Sendo:

$d$  - largura da seção (1 m)

Onde se obtém um valor para a área representativa de 1,00 m<sup>2</sup> e um volume de 1,0 m<sup>3</sup>.

Para obter-se a massa ( $m$ ) dessa seção representativa, da Eq. 3:

$$m = \rho \cdot V \quad [3]$$

Onde:

$\rho$  – densidade do material granito (2800,0 Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  – volume da seção (1 m<sup>3</sup>)

Portanto das Eq.1 a 3, a massa equivalente calculada da Fachada é de 2800 Kg.

Considerando as medições realizadas *in situ* pelo Piranômetro Ingenieurburo serem em mV (milivolts), medições essas que pelas especificações do próprio aparelho são convertidas à Watts pela relação de 1 mV:0,055 W, necessitam ainda serem convertidas em quilojoules (KJ), ou seja, unidades de calorimetria, na proporção de 1 W:3,6 KJ/hora.

Para obter-se a absorptância, adota-se a Eq. 4, extraída de Moran *et al.*, (2003), pág. 483:

$$\sigma + \alpha + \tau = 1 \quad [4]$$

Onde:

$\alpha$  – reflectância;

$\sigma$  – absorptância; e

$\tau$  – transmissividade.

Ao adotar-se a parede como opaca, a Eq. 4 é simplificada à Eq. 5, extraída do mesmo autor:

$$\sigma + \alpha = 1 \quad [5]$$

Ou seja, considerando-se a reflectância de 0,29 para o granito, obtém-se uma absorptância de 0,71 (Alchapar *et. al.*, 2012). Para obter-se o incremento de temperatura sobre a Fachada 2, ponto a ponto, empregou-se a lei fundamental da calorimetria (Eq. 7), considerando-se a quantidade de calor (Q) como o calor acumulado desde o crepúsculo matutino até o momento à ser analisado, ou seja, da Eq. 6:

$$Q = \sum_{n=2}^n \frac{\sqrt{q_{n_h}^2 + q_{n_v}^2} + \sqrt{q_{n-1_h}^2 + q_{n-1_v}^2}}{2} (t_n - t_{n-1}) \quad [6]$$

Onde:

$n$  – Ponto atual;

$n - 1$  – Ponto anterior;

$q_{n_h}$  - Leitura horizontal do Piranômetro para o ponto “n”;

$q_{n_v}$  - Leitura vertical do Piranômetro para o ponto “n”; e

$t_n$  – Tempo para o ponto “n”.

$$Q = m.c.(T_f - T_i) \quad [7]$$

Onde:

$Q$  – Quantidade de calor (Kj);

$c$  – calor específico (Kj/kg°C);

$m$  – massa equivalente (kg);

$T_i$  – Temperatura inicial (°C); e

$T_f$  – Temperatura final (°C).

Considerando-se na Eq. 7, a temperatura final como o gradiente de temperatura e a temperatura inicial como nula, reescreve-se a Eq. 7 na Eq. 8:

$$T_f = \frac{Q}{m.c} \quad [8]$$

E finalmente, obtém-se a conversão de temperatura sobre influência de incidência de radiação solar, devido a absorvância aplicada a Fachada 2, para os três dias de medição (Figura 35).

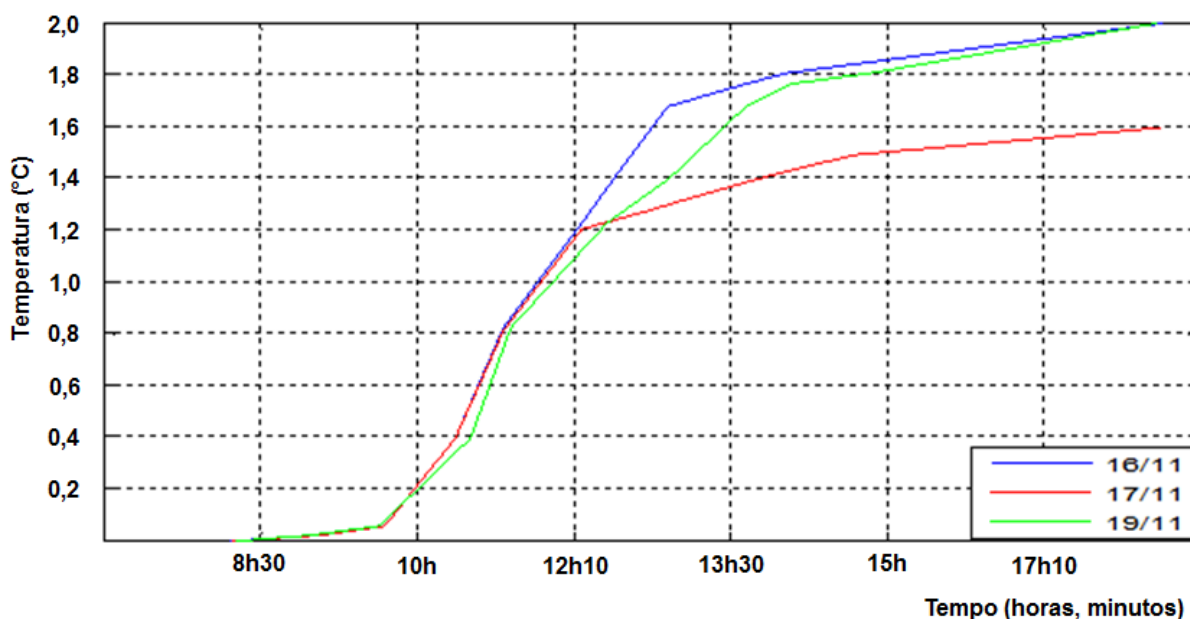


Figura 35. Conversão de radiação solar em temperatura submetida a Fachada 2

#### 4.3.4. Conversão de radiação solar

Na Figura 36 são apresentadas as temperaturas encontradas na segunda campanha, nas Fachada 1 e 2, e o valor de temperatura convertida para Fachada 2, especificamente no Ponto 1. Devido à proximidade da Fachada 2 (0,5m), é esperado uma maior influência no ambiente urbano imediato, ou seja, da influência variável (resultante do material do qual a fachada é constituída) do calor retido por essa fachada exposta à radiação solar. São demonstrados os valores de temperatura convertidos para Fachada 2, no ponto 1 considerando a mesma incidência de radiação solar em que Fachada 1 foi submetida, no mesmo período (do dia) em que procedeu-se as demais medições das variáveis climáticas.



Assim, observa-se que a diferença entre a temperatura medida e a temperatura convertida para o ponto 1 apresentou um aumento médio de  $0,2^{\circ}\text{C}$ , nas primeiras medições. No entanto, a temperatura convertida para as segundas medições apresenta um aumento de temperatura superior a  $1^{\circ}\text{C}$ , em consequência a um período de horas superior à exposição solar. Para as terceiras medições, o aumento de temperatura é ainda mais expressivo, variando entre  $1,2^{\circ}\text{C}$  e  $2,4^{\circ}\text{C}$ , devido à maior exposição aos raios solares ao longo do dia. Destaca-se ainda que, para as terceiras medições, ao relacionar a Fachada 2 corrigida com os dados de temperatura da Fachada 1, todas as temperaturas são superiores.

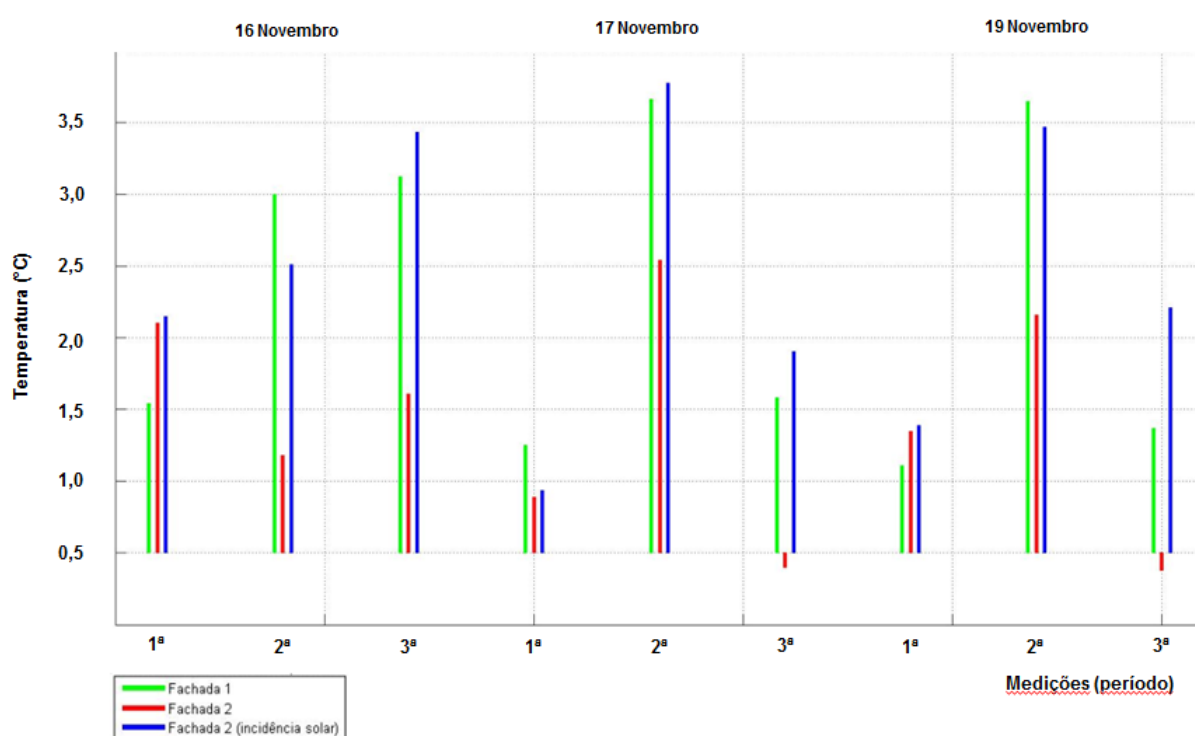


Figura 36. Conversão de temperatura na Fachada 2 aplicada ao Ponto 1, na segunda campanha

#### 4.4. Síntese

Diante da apresentação dos dados da primeira e segunda campanha de medições realizadas, pode-se ressaltar as diferenças encontradas entre as diferentes épocas do ano e períodos do dia. Na primeira campanha realizada no verão, observou-se temperaturas mais elevadas e umidades mais baixas, como demonstrado no perfil de comportamento térmico (Figuras 23 e 29). Aponta-se, desse modo, para uma redução da temperatura, entre os pontos 1 e 4. No

microclima analisado, localizado nos pontos referente a Fachada 1, que se encontra recoberta por vegetação, foi mensurado uma redução de temperatura nas diferentes distâncias e pontos medidos de até 2,7°C, nos períodos diurno e vespertino.

Em segunda campanha realizada no período outonal, onde as temperaturas são inferiores e os dias expressivamente mais úmidos, atingindo um pico de valor de 100%, nota-se que a variação térmica encontrada é inferior. Nas temperaturas medidas em diferentes distâncias, não foram apresentadas reduções significativas face a primeira campanha. Os valores de temperatura encontrados não ultrapassam uma redução de 1,5°C, entre o ponto 1 e ponto 4, na Fachada 1. Os dados de umidade do ar coletados em campo apresentaram uma amplitude média de 3%, entre os diferentes pontos e distâncias medidas. Tal variação foi caracterizada como pouco representativa, ao que se refere à essa variável climática e aos gradientes observados.

Referindo-se aos diferentes comportamentos térmicos observados nos três períodos de monitoramento matutino, diurno e vespertino, realizados durante seis dias, pode-se destacar que 67% das medições realizadas na Fachada 1 apresentaram um comportamento de redução térmica ao confrontar as medições de temperatura entre o ponto 1 e ponto 4. Sendo o ponto 1, o mais próximo da vegetação (0,5m), e apresenta temperaturas mais baixas em relação aos pontos e medições subsequentes.

Tendo em vista a condição de exposição solar das Fachadas 1 e 2, na segunda campanha, onde a Fachada 1 na maior parte da campanha foi submetida a uma incidência indireta de sol, enquanto a Fachada 2 não sofreu incidência de sol, foi necessário equalizar o efeito dessa exposição sobre a Fachada 2, de forma compará-las em condições similares. Para isso, foi empregado uma conversão térmica, tomando por base a incidência de raios solares sobre a Fachada 1, e adotando-se valores padronizados para refletância e densidade do material predominante na Fachada 2. Portanto, ao comparar-se os valores obtidos para a Fachada 2 sem e com conversão, é válido acrescentar que para os valores convertidos, há um significativo incremento de temperatura sobre o ponto 1, sendo mais significativo nas 2ª e 3ª medições devido ao crescente tempo de exposição desta ao sol, ao longo do dia, com valores entre 1,2 °C e 2,3 °C.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1. Primeira campanha

- *Efeito envelope, encontrado nas primeiras medições da manhã*

O comportamento térmico no microclima urbano medido no período matutino entre 10h-11h, onde foram observadas as menores temperaturas em relação aos períodos diurno e vespertino, também apontam para as menores diferenças de temperatura atingidas entre os pontos 1 e 4. Com exceção das medições realizadas no dia 23 de setembro onde as condições meteorológicas foram de tempo nublado, nota-se ainda que, houve medições em que as variáveis climáticas de temperatura e umidade mostram-se inversas nos dias 24 e 25 de setembro ao comportamento térmico esperado na Fachada 1. Existindo uma regressão de temperatura entre os pontos 1 e 4, sendo que o ponto 1, o mais próximo da fachada com vegetação, apresenta maior temperatura em relação aos pontos subsequentes.

Este comportamento ocorrido no período matutino, pode ser devido ao fato da Fachada 1 ter retido calor ao longo do dia e armazenado durante o período noturno. Tal calor retido é emitido ao meio urbano pela manhã, efeito conhecido por inércia térmica na fachada com presença de vegetação (Khudhair, Farid, 2004). Somado a essa probabilidade, obteve-se também evidência que os pontos de medição 2, 3 e 4, sofreram no período matutino, maior influência e dispersão de calor em virtude à velocidade e direção predominante dos ventos (Tabela 5).

### 5.2. Segunda campanha

Na segunda campanha de medições, foi observado que o gradiente de redução térmica é essencialmente inferior, devido as menores temperaturas encontradas no período outonal. No entanto, procede-se nessa campanha a medição de radiação solar e posterior conversão da incidência solar aplicada a Fachada 2, considerando que a mesma estivesse exposta ao sol. Exposição que poderia aumentar a temperatura da Fachada 2 em até 1,8 °C, como efeito ocasionado no dia 16 de novembro de 2015, em período diurno. Ao compararmos tal comportamento térmico da Fachada 1, sobre a incidência solar aplicado a Fachada 2,

significaria um aumento de temperatura representativo, nas estações de primavera e verão. Logo, o ambiente imediato da Fachada 1, na presença de vegetação, poderia em tais estações mesmo com exposição direta ao sol em longos períodos, estabilizar a temperatura do ar relativamente a Fachada 2.

### **5.3. Primeira campanha versus segunda campanha**

- *Comparativa entre valores encontrados no verão e outono*

Foi observado que na estação de verão com temperatura mais elevadas e umidade do ar mais baixas, o efeito de variação no comportamento térmico na presença de vegetação, em escala de microclima é intensificado, apresentando gradientes de redução de temperatura mais expressivas na Fachada Verde. Na estação outonal em que as temperaturas são mais baixas e a umidade do ar mais elevada, notou-se um efeito de variação no comportamento térmico inferior. Esta conclusão valida demais conclusões de estudos anteriores, que evidenciam o efeito de fachadas verdes e telhados verdes em mitigar as temperaturas urbanas ser potencialmente maior em climas mais quentes e secos. (Alexandri, Jones, 2008; Feng, Hewage, 2014; Salata *et. al.*, 2015).

### **5.4. Discussão dos resultados e problemáticas**

- *Melhores tendências de reduções térmicas estão condicionadas a menores distâncias*

Foi observado que, os comportamentos mais significantes de redução de temperatura foram medidos no ambiente urbano imediato. Em que a proximidade da Fachada 1, recoberta por vegetação, nos pontos 1 (0,5m) e ponto 2 (1,5m) apresentaram melhor desempenho de redução térmica em relação aos pontos subsequentes, o que confirma resultados também obtidos Wong (2010). Outro fator de relevante influência na redução de temperatura em microclima urbano é a área de sombreamento. A Fachada 1 estudada, não possui espessura de vegetação suficiente para gerar sombra. Em pesquisas focadas na análise de sombreamento, foi ponderado que 80% do potencial das áreas verdes na redução dos valores de temperatura do ar se deve ao sombreamento arbóreo (Hassid *et.al.*, 2000).

- *Diferentes valores de temperatura, em diferentes altitudes*

A média de redução de temperatura encontrada em investigações experimentais é de 2 °C à 3 °C. Existem diversificadas interferências do meio ambiente urbano na temperatura encontrada, à citar: tipo de pavimento e o grau de refletância do material utilizado, área de sombreamento, radiação solar, direção predominante dos ventos no microclima estudo, entre outras interferências de condicionantes deparadas em campo. No entanto, devido ao período reduzido de medições, restrições de equipamentos, e o tempo limitado desta investigação de mestrado, não foi possível monitorar, isolar e incluir nas análises comparativas todas as variáveis encontradas em campo.

No entanto, mesmo com restrições e limitações encontradas ao longo da investigação, e em especial no monitoramento de coleta de dados *in situ*, foi possível realizar o levantamento de dados e gerar discussões sobre questões e problemáticas envolvidas na questão investigativa. Os valores foram analisados de forma comparativa e apontam tendências de comportamento térmico urbano na presença de vegetação, em escala de microclima.

- *Variáveis de direção e velocidade dos ventos, umidade do ar e radiação solar*

***Direção e velocidade dos ventos:*** os dados coletados *in situ* são das duas campanhas de medições pontuais, representando apenas a direção e velocidade dos ventos no exato momento em que foi realizada a coleta de dados. Não sendo possível assim caracterizar adequadamente e isolar tal variável, e estabelecer sua real influência no microclima estudado. Para isso seria necessário um monitoramento com períodos mais extensos, em ambas as estações, e equipamentos fixos para traçar um perfil fiável, de análise mais profunda e realmente descritivo de influência dos ventos na área urbana estudada;

***Umidade do ar:*** foram apenas discutidos e considerados os valores relativos de umidade de ar. O equipamento disponibilizado para campo possui baixa precisão, não é ideal para medições em áreas externas e as oscilações de dados encontrados em campo em sua grande maioria não ultrapassam a margem de incerteza. De todo o modo, podemos citar que a maioria dos dados medidos apontam para um aumento progressivo da umidade relativa do ar entre o ponto 1 e ponto 4, em ambas as fachadas;

**Radiação solar:** a medição da variável de radiação solar, em segunda campanha, se deu devido a oportunidade de minimizar uma das problemáticas espaciais encontradas em campo na primeira campanha. O propósito foi de enriquecer a análise e discussão dos resultados. No entanto, a conversão da radiação solar aplicada a Fachada 2, é uma contabilização aproximada e simplificação da influência da incidência solar na fachada convencional estudada.

- *Problemática da coleta de dados em campo*

Devido à complexidade conhecida dos ensaios em campo, que engloba problemas relacionados ao transporte e manipulação dos equipamentos móveis para coleta de dados *in situ*, a necessidade de monitores auxiliares, dificuldade real e objetiva de coletas contínuas de dados durante períodos alargados de tempo pela segurança dos equipamentos.

Investigações realizadas anteriormente demonstram que, para uma correta validação do método de coleta de dados é necessário realizarem monitoramentos meticulosos. Sendo ideal que haja continuidade de tempo e disponibilidade de equipamentos arrojados e integrados. A melhor solução apontada para campanha de medições em campo é a possibilidade de monitorar dados de variáveis físico-ambientais a partir da instalação de equipamentos fixos, onde sejam obtidos valores para 24 horas de medições e realizadas em tempo mínimo suficiente para se obter valores médios (Tumini, 2012; Castro, 2012).

O método experimental e de coleta de dados *in situ* consequentemente foi reduzido e simplificado, limitando assim isolar e quantificar demais variáveis físico-ambientais que influenciam na análise do comportamento térmico no microclima. Têm-se consciência, nesta investigação, que apenas foram monitoradas e isoladas algumas das variáveis que influenciam o comportamento térmico.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. Conclusão

A presente investigação buscou analisar *qual a influência de uma fachada verde na variação do comportamento térmico em um microclima urbano, submetido às condições externas da cidade de Madrid, em Espanha*. Há de se ressaltar que o direcionamento para a investigação experimental decorreu da relevância deste tipo de fachada, com presença de vegetação, e focou em extrapolar os já comprovados benefícios estéticos, de conforto visual e lazer no espaço público e áreas urbanas dos grandes centros urbanos. Procurou-se, então nas “Árvores de Ar” do Eco-Boulevard e no jardim vertical do Museu Caixa Fórum quantificar *in situ* a diminuição da temperatura e provável combate as ilhas de calor, em escala de microclima.

O método experimental selecionado através de um estudo de caso e coleta de dados *in situ*, implicou que, por esse motivo a investigação esteve sujeita a numerosas influências externas, limitações de condições encontradas em campo, tornando-se complexo isolar todas as variáveis físico-ambientais que influenciam a temperatura do ar, seu entorno imediato e demais fenômenos de condições externas de investigação. No entanto, estas condicionantes citadas traduzem as situações reais vivenciadas pelos usuários nos espaço público.

O período de monitoramento de 6 dias, contemplando apenas duas estações do ano, permitiu compreender a influência de uma fachada verde na temperatura do ar, em escala de microclima, sendo possível concluir sobre os valores absolutos de tal influência.

Foram encontrados valores e resultados que estão em consonância com estudos similares desenvolvidos em alguns países como Alemanha, Espanha, Grécia, Singapura entre outros. Logo, é justificável afirmar que a tendência de comportamento térmico na presença de vegetação, em escala de microclima medidas no centro urbano de Madrid, a uma distância de 0,5 metros do ambiente urbano imediato, verificou os melhores resultados obtidos para a primeira campanha (Tabela 7 e 8), uma redução de temperatura registrada entre 2,5°C e 2,9°C em um dia de verão quente e seco. Em segunda campanha apresentam reduções de 1,5°C (Tabela 10) no período outonal.

Na segunda campanha, verificou-se a necessidade de quantificar e analisar o parâmetro complementar de radiação solar, para realizar uma comparação entre as Fachadas 1 e 2. Considerando condições similares de incidência solar em ambas as Fachadas, foi possível observar (Figura 36), um aumento significativo nos valores de temperatura das análises decorrentes, atingindo um incremento de 2,3°C.

## 6.2 Recomendações futuras

Para além das variáveis físico-ambientais e climatológicas relacionadas a presença de vegetação nas fachadas, pode-se ainda sobressaltar diversas outras influências urbanas exercidas sobre o comportamento térmico urbano: dimensão e densidade da área construída, orientação e largura das ruas, morfologia urbana, compacidade e porosidade urbana, materiais aplicados a edificação e diferentes características de absorção ou refletância do calor, quantidade de áreas verdes e área de sombreamento. Sendo necessário buscar maiores esclarecimentos sobre fontes de incerteza térmica. Para direccionamento de trabalhos futuros, destaca-se ainda:

- *Sustentabilidade urbana*: desenvolvimento de conhecimento orientado a melhoria do espaço público e da relação de espaços verdes versus espaços vagos ou abandonados nos grandes centros urbanos. Em conjunto com formações de competências multidisciplinares, é legítimo estabelecer uma relação de melhoria e desenvolvimento sustentável das áreas urbanizadas;
- *Desempenho funcional*: estudos que associem a magnitude do desempenho de redução térmica das características de densidade, forma, dimensionamento e espessura mínima da vegetação em função da diminuição de temperatura que se pretende obter. A fim de estabelecer critérios que futuramente possam respaldar a criação de índices e parâmetros;
- *Seleção da vegetação*: estudar critérios de seleção para escolha e implementação de vegetação nas fachadas segundo o clima e região, microclima, volume de precipitações anuais, exposição solar, existência de períodos de seca, cheia e gelo, e direcção predominante dos ventos nas diferentes estações do ano.

Outras aplicações:



- *Desempenho acústico:* ainda há muito conhecimento por investigar no âmbito desempenho acústico das edificações. Sugestões referem-se ao conhecimento do quanto é possível atingir redução do ruído em relação direta a aplicação das fachadas verdes. Sendo ainda necessário estudar e quantificar qual a previsão quantitativa de redução de ruído;
- *Reabilitação:* conhecimento acerca de aplicação de fachadas verdes na reabilitação de edifícios. No que se refere a melhoria de seu desempenho térmico e acústico, sem apresentar grandes mudanças estruturais em edifícios com restrições de modificações devido ao reconhecimento de património;



## 7. REFERÊNCIAS

- AEMET, I. (2011). Atlas climático ibérico/Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino, Madrid, Instituto de Meteorologia de Portugal. Obtido em Junho de 2015, de <http://www.aemet.es/es/portada>
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construído*, 12(3), 107-123.
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493.
- Arana, J. & Franchini, T.(2014).Strategies for the Post-Speculative City. Association of European Schools of Planning Secretariat General & Wrocław University of Technology, Poland.
- ArchDaily, (2008). Eco Boulevard em Vallecas/ Ecosistema Urbano". Obtido em Abril de 2015, de <http://www.archdaily.com/6303/eco-boulevard-in-vallecas-ecosistema-urbano/>
- Bartfelder, F., Köhler, M., (1987). Experimentelle untersuchungen zur function von fassadenbegrünungen, Dissertation TU Berlin 612S.
- Blanc, P. (2011). The vertical Garden: A scientific and Artistic approach. Obtido em Janeiro de 2016, de <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/documents>
- Blanc, P. (2012). The Vertical Garden: from nature to the city. W.W.Norton & Company: London.
- Bonamente, E., Rossi, F., Coccia, V., Pisello, A. L., Nicolini, A., Castellani, B., ... & Santamouris, M. (2013). An energy-balanced analytic model for urban heat canyons: comparison with experimental data. *Advances in building energy research*, 7(2), 222-234.

- Bosselmann, P., Arens, E., Dunker, K., & Wright, R. (1995). Urban Form and Climate: Case Study, Toronto. *Journal of the American Planning Association*, 226–239.
- Bustamante, J. (2003). Cartografía predictiva de variables climáticas: comparación de distintos modelos de interpolación de la temperatura en España peninsular. *Graellsia*, 359–376.
- Caballero, N. M. (2005). Contribuição ao estudo do Ecodesign na Seleção de Materiais para Construção de Residências Unifamiliares em Ambientes Urbanos. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Obtido em Fevereiro de 2015, de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5036>
- Castanheira, G. S., Bragança, L., Mateus, R.(2014). Definindo melhores práticas em projetos de Regeneração Urbana Sustentável. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 7-25. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- Castro, S. S. (2012). Evaluación teórica y experimental de una torre de viento evaporativa para acondicionamiento térmico de espacios abiertos. (Doctoral dissertation). Universidad Politécnica de Madrid.
- Chango, M. S. (2010). Cool pavements as a sustainable approach to green streets and highways. In *Green Streets and Highways 2010: An Interactive Conference on the State of the Art and How to Achieve Sustainable Outcomes* (p. 235). ASCE Publications.
- Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2004). Microclimatic studies of urban open spaces in Northern Greece. *In Proc. PLEA*, 83-88.
- Chen, Q., Li, B., & Liu, X. (2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings*, 61, 298-307.
- CMHC, (2006). Green Roofs - A Resource Manual for Municipal Policy Makers. Construção Sustentável. Obtido em Abril de 2015, de <http://www.construcaosustentavel.pt>

Comunidad de Madrid, Diagnóstico Ambiental, (2014) Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Secretaria General Técnica, Área de Información y Documentación Ambiental, Madrid, 2014, Obtido em Agosto de 2015, de <http://www.madrid.org/cs>

Cortesão, J. G., Alves, F. B., Corvacho, H., & Rhodes, M. (2009). The climatic skin of urban spaces. *International Journal for Housing Science and it's Applications*, 105-115.

Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings*, 35(1), 69-76.

El País, (2016). Obtido em Fevereiro de 2016, de [http://ccaa.elpais.com/ccaa/2016/01/23/madrid/1453573500\\_585056.html](http://ccaa.elpais.com/ccaa/2016/01/23/madrid/1453573500_585056.html)

EPA (2008). Heat Island Effect. Environment Protection Agency. E.U.A. Obtido em Março de 2015, de <http://www.epa.gov/heatisland/about/index.html>

Eumorfopoulou, E. A., & Kontoleon, K. J. (2009). Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. *Building and Environment*, 44(5), 1024-1038.

Europeia, Comissão. Ambiente.(2014). Compreender as políticas da União Europeia: Ação climática. Obtido em Fevereiro de 2015 de [http://europa.eu/pol/pdf/flipbook/pt/climate\\_action\\_pt.pdf](http://europa.eu/pol/pdf/flipbook/pt/climate_action_pt.pdf)

Feng, H., & Hewage, K. (2014). Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. *Energy and Buildings*, 75, 281-289.

García, E. H. (2006). Urbanismo bioclimático.

Garrido, L.(2012). Self Sufficient: Green Architecture, Instituto Monsa de Ediciones, S.A., Barcelona.

Gehl, J. (2006). La humanización del espacio urbano: la vida social entre los edificios. 5. Ed., Editorial Reverté, Barcelona.

Gil, A. (2010). Como elaborar projeto de pesquisa. 5ª Edição. São Paulo: Ed. Atlas.

- Haggag, M., Hassan, A., & Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings*, 82, 668-674.
- Hassid, S., Santamouris, M., Papanikolaou, N., Linardi, A., Klitsikas, N., Georgakis, C., & Assimakopoulos, D. N. (2000). The effect of the Athens heat island on air conditioning load. *Energy and Buildings*, 32(2), 131-141.
- Higueras, E. (1997). Urbanismo bioclimático. Criterios medioambientales en la ordenación de asentamientos. Resumen de Tesis Doctoral. ETS de arquitectura Dirección General de la Vivienda, Arquitectura y Urbanismo.
- Higueras, E. (2009). Desarrollo urbano sostenible y criterios de diseño urbano para Ordenaciones residenciales. Master Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática (MAyAB), Cap.2, Editorial DAPP, Universidad Politécnica de Madrid.
- Junior, J. E. D. L. (2014). Avaliação da influência de um sistema de fachada viva: o estudo de caso da planta sphagneticola trilobata em condições de inverno decuritiba. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- Khudhair, A. M., & Farid, M. M. (2004). A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy conversion and management*, 45(2), 263-275.
- Kolokotsa, D. D., Santamouris, M., Akbari, H., Kolokotsa, D. D., Berdahl, P., Bird, R., ... & Jerman, I. (2013). Advances in the development of cool materials for the built environment.
- Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*, 45(5), 1287-1303.
- Liang, H. H., & Huang, K. T. (2011). Study on rooftop outdoor thermal environment and slab insulation performance of grass planted roof. *Int J of the Phys Sci*, 6, 65-73.

- Lucas, V. S. (2011). Construção Sustentável: Sistema de Avaliação e Certificação. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Obtido em Março de 2015, de <http://run.unl.pt/handle/10362/5613>
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Munson, B. R., & DeWitt, D. P. (2003) Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer.
- Ngan, G. (2004). Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design, 1-45. British Columbia Society of Landscape Architects (BCSLA).
- Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., & Imura, H. (2010). Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry and Urban Greening*, 323–332.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M & Raiteri R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 2287–2294.
- Pensamento Verde. (s.d.). Obtido em Abril de 2015, de <http://www.pensamentoverde.com.br/governo/franca-aprova-lei-que-obriga-predios-comerciais-terem-telhado-verde-ou-placa-solar/>
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, a., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management*, 1861–1867.
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 4854–4859.
- Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, a. L. a, Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 2287–2294.

- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri R.(2011). Greening the building envelope, façade greening living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 1-8.
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2013). Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems*, 16(2), 265–277.
- Pisello, A. L., Santamouris, M., & Cotana, F. (2013). Active cool roof effect: Impact of cool roofs on cooling system efficiency. *Advances in building energy research*, 7(2), 209-221.
- Prodanov, C. C., & Freitas, C.E. (2013). Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed., Novo Hamburgo: Universidade Feevale, RS, Brasil.
- Quental, N., Lourenço, J. M., & da Silva, F. N. (2011). Sustainability: Characteristics and scientific roots. *Environment, Development and Sustainability*, 257–276.
- Quental, N., Lourenço, J. M., & Da Silva, F. N. (2011). Sustainable development policy: Goals, targets and political cycles. *Sustainable Development*, 15–29.
- Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Filipponi, M., Nicolini, A., & Santamouris, M. (2015). Retroreflective façades for urban heat island mitigation: Experimental investigation and energy evaluations. *Applied Energy*, 145, 8-20.
- Ruiz-Apilánez, B. & Ureña, J.M.(2014). Transformación y Activación Social de La Calle: El Eco-Bulevar de Vallecas (Madrid).Ciudades: Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid, 175-199. Obtido em Maio de 2015, de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4734353>
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, A., & de Lieto Vollaro, R. (2015). How high albedo and traditional buildings’ materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*, 99, 32-49.
- Santamouris, M. (2013). Energy and climate in the urban built environment. Routledge.



- Santamouris, M., & Allard, F. (1998). Natural ventilation in buildings: a design handbook. Earthscan.
- Santo, H. M. I. E. (2010). Procedimentos para uma certificação da Construção Sustentável. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Obtido em Abril de 2015, de <http://run.unl.pt/handle/10362/4045>
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill A. (2003). Research Methods for Business Students. 3<sup>a</sup> Edition. Prentice Hall, Essex, England.
- Scherba, A., Sailor, D. J., Rosenstiel, T. N., & Wamser, C. C. (2011). Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. *Building and Environment*, 46(12), 2542-2551.
- Sebassetmanagement. (2011). Berlin's Potsdamer Platz awarded DGNB Sustainability Certificate. Sebassetmanagement(SEB). Obtido em Junho de 2015, de [http://www.dreiseitl.com/data/NEWS/2013\\_pdfs\\_Links/111005\\_PM\\_DGNBCertificate\\_Potser-Platz\\_Engl.pdf](http://www.dreiseitl.com/data/NEWS/2013_pdfs_Links/111005_PM_DGNBCertificate_Potser-Platz_Engl.pdf)
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2004). Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. *Building and Environment*, 39(9), 1087-1099.
- Sheweka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). Green facades as a new sustainable approach towards climate change. *Energy Procedia*, 507-520.
- Smith, K. R., & Roebber, P. J. (2011). Green roof mitigation potential for a proxy future climate scenario in Chicago, Illinois. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(3), 507-522.
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8), 2119-2126.

- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., & Soualakellis, N. (2008). On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(11), 2846-2856.
- Tsilini, V., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. D., & Maria, E. A. (2015). Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 14, 323-333.
- Tumini, I. (2012). El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid. (Doctoral dissertation, Arquitectura). Universidad Politécnica de Madrid.
- Uffelen, C. V. (2011). *Façade Greenery: contemporary landscaping*. 1<sup>a</sup> Edition. Salenstein: Braun Publishing AG, Suíça.
- Vallecas, E. (2005). Ecoboulevard Vallecas, Madrid, Spain. Obtido em Junho de 2015, de <http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/30056/06chapter6.pdf?sequence=7>
- Voogt, J. (2007). How Researchers Measure Urban Heat Islands.
- Voogt, J., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384.
- Weather Underground (2016). Obtido em Agosto, <http://www.wunderground.com>
- Windfinder (2015). Obtido em Outubro de 2015, de <https://www.windfinder.com/>
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., ... Wong, N. C. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 663–672.
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., & Wong, N. C. (2009). Energy simulation of vertical greenery systems. *Energy and Buildings*, 41(12), 1401-1408.